

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Měření a vyhodnocení výkonových charakteristik automobilu

Measuring and Evaluating of Car's Performance Characteristics

Student:

Bc. Jakub Sládek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Richtář

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Sládek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: **Měření a vyhodnocení výkonových charakteristik automobilu**
Measuring and Evaluating of Car's Performance Characteristics

Zásady pro vypracování:

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Problematika měření výkonu motoru
3. Sestavení metodiky zkoušek
4. Statistické nástroje pro vyhodnocení
5. Experimentální měření a vyhodnocení
6. Závěry a doporučení

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Svoboda, J. Teorie dopravních prostředků, Praha: ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-01613-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́една́но, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́една́но, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jakub Sládek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Těšínská 482, Ostrava – Bartovice, 717 00

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SLÁDEK, J. *Měření a vyhodnocení výkonových charakteristik automobilu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 105 s. Vedoucí práce: Ing. Michal Richtář

Cílem této diplomové práce bylo prostřednictvím experimentálního měření stanovit výkonové parametry přeplňovaného spalovacího motoru u vybraného vozidla. Úvodní část obsahuje popis měřeného automobilu včetně úprav, které byly na tomto vozidle provedeny. Následně byla zpracována metodika měření. Samotné měření probíhalo na válcové zkušebně MAHA LPS 2000. Naměřené výsledky byly zpracovány a statisticky vyhodnoceny. Výsledkem této diplomové práce jsou vnější charakteristiky přeplňovaného spalovacího motoru.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

SLÁDEK, J. *Measuring and Evaluating of Car's Performance Characteristics: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2012, 105 p. Thesis head: Ing. Michal Richtář

The objective of this master thesis is to determine efficiency parameters of supercharged internal – combustion engine of selected vehicle by experimental measurement. Introduction (preamble) contains description of measured vehicle, including its modification. Methodology of measurement is elaborated after that. Actual measurement was realized on the dynamometric station of MAHA PLS 2000. Measured results have been evaluated statistically. The result of this master thesis is set of external characteristics of supercharged internal – combustion engine.

OBSAH

strana

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
0 Úvod	9
1 Technický popis měřeného vozidla	10
1.1 Popis základních úprav	10
1.1.1 Spalovací motor	10
1.1.2 Spojka	12
1.1.3 Brzdy a podvozek.....	12
1.1.4 Optické úpravy.....	13
1.2 Instalace turbodmychadla.....	14
1.2.1 Turbodmychadlo	15
1.2.2 Obtokový ventil (wastegate).....	18
1.2.3 Řídící jednotka	23
1.2.4 Lambda sonda	25
1.2.5 Palivo	25
1.2.6 Vstřikovací ventily	26
1.2.7 Chladič stlačeného vzduchu (intercooler)	26
1.2.8 Sací potrubí	27
1.2.9 Přetlakový ventil	27
1.3 Technické a ekonomické zhodnocení	29
2 Problematika měření výkonu	31
2.1 Výkon motoru.....	31
2.1.1 Měření výkonu motoru pomocí motorové brzdy	32
2.1.2 Měření výkonu motoru pomocí válcového dynamometru	33
2.1.3 Měření výkonu motoru pomocí indikace spalovacího tlaku.....	34
2.1.4 Měření pomocí snímání točivého momentu na klikovém hřídeli motoru	35
2.1.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru.....	36
2.2 Přenos výkonu na kola vozidla	37
2.3 Korekce měřeného výkonu.....	37
2.4 Hnací síla přivedená na kola vozidla	37
2.5 Rovnice pohybu silničního vozidla.....	38
2.5.1 Odpor sklonu.....	39
2.5.2 Odpor valení.....	40
2.5.3 Odpor vzduchu	41
2.5.4 Odpor zrychlení.....	42

2.6	Charakteristika hnací síly na kolech vozidla	43
3	Sestavení metodiky zkoušek	44
3.1	Válcová zkušebna MAHA LPS 2000	44
3.1.1	Komunikační pult s barevnou obrazovkou	45
3.1.2	Dálkové ovládání.....	46
3.1.3	Sada válců	46
3.1.4	Modul rozhraní.....	47
3.1.5	Ventilátor	49
3.1.6	Tiskárna	49
3.2	Základní podmínky měření	50
3.3	Metodika měření.....	50
3.3.1	Ustavení vozidla a příprava před měřením	50
3.3.2	Struktura programu LPS 2000	51
3.3.3	Vlastní měření	53
4	Statistické nástroje pro vyhodnocení	55
4.1	Nejistoty měření.....	55
4.1.1	Standardní nejistota typu A.....	55
4.1.2	Standardní nejistota typu B.....	58
4.1.3	Kombinovaná standardní nejistota	59
4.2	Grafické a tabelární zpracování naměřených výsledků	61
5	Experimentální měření a vyhodnocení	64
5.1	Plnicí tlak – atmosférický – $p_{\max} = 97$ kPa	65
5.1.1	Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru	65
5.1.2	Naměřené hodnoty – výkon motoru.....	68
5.1.3	Naměřené hodnoty – maximální točivý moment motoru.....	71
5.1.4	Naměřené hodnoty – točivý moment motoru	72
5.1.5	Vnější charakteristika spalovacího motoru.....	74
5.2	Plnicí tlak – $p_{\max} = 130$ kPa.....	77
5.2.1	Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru	77
5.2.2	Naměřené hodnoty – výkon motoru.....	78
5.2.3	Naměřené hodnoty – maximální točivý moment motoru.....	79
5.2.4	Naměřené hodnoty – točivý moment motoru	79
5.2.5	Vnější charakteristika spalovacího motoru.....	80
5.3	Plnicí tlak – $p_{\max} = 133$ kPa.....	82
5.3.1	Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru	82
5.3.2	Naměřené hodnoty – výkon motoru.....	82
5.3.3	Naměřené hodnoty – maximální točivý moment	83

5.3.4 Naměřené hodnoty – točivý moment	84
5.3.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru	85
5.4 Plnicí tlak – $p_{\max} = 140$ kPa	86
5.4.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru	86
5.4.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru	87
5.4.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment	88
5.4.4 Naměřené hodnoty – točivý moment motoru	88
5.4.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru	89
5.5 Plnicí tlak – $p_{\max} = 151$ kPa	91
5.5.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru	91
5.5.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru	91
5.5.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment	92
5.5.4 Naměřené hodnoty – točivý moment motoru	93
5.5.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru	94
5.6 Zhodnocení	95
6 Závěry a doporučení	97
7 Seznam použitých pramenů	99
8 Seznam použitých obrázků	100
9 Seznam použitých tabulek	103
10 Seznam příloh	105

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka

Význam

BMW	Bayerische Motoren Werke (značka vozidla)
DIN	Deutsches Institut für Normung (zkratka normy)
DMI	dolní mezní interval
ECE-R	Economic Commission for Europe Regulation (zkratka směrnice)
EHS	Evropské Hospodářské Společenství (zkratka směrnice)
ISO	International Organisation for Standardization (zkratka normy)
TP	třída přesnosti

Symbol

Význam

Jednotka

α	úhel stoupání vozidla	[°]
δ	součinitel vlivu rotujících částí	[-]
η_c	celková účinnost převodového ústrojí	[-]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
$\sigma(\bar{M})$	rozptyl aritmetického průměru pro točivý moment motoru	[Nm]
$\sigma(\bar{n}_M)$	rozptyl aritmetického průměru pro otáčky při max. toč. momentu	[min ⁻¹]
$\sigma(\bar{n}_P)$	rozptyl aritmetického průměru pro otáčky při maximálním výkonu	[min ⁻¹]
$\sigma(\bar{P})$	rozptyl aritmetického průměru pro výkon motoru	[kW]
τ	taktnost motoru	[-]
ω	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]
ω_k	úhlová rychlost hnacího kola	[rad.s ⁻¹]
a	zrychlení vozidla	[m.s ⁻²]
c_x	součinitel odporu vzduchu	[-]
e	rameno valení	[m]
E	vstupní napětí	[V]
f	součinitel odporu valení	[-]
F	síla na rameni	[N]
F_b	síla na rameni brzdy	[N]
F_k	síla na obvodu hnacího kola	[N]

g	tíhové zrychlení	$[\text{m.s}^{-2}]$
G	modul pružnosti ve smyku	$[\text{MPa}]$
G_v	tíha vozidla	$[\text{N}]$
i	počet válců	$[-]$
i_0	převodový poměr rozvodového ústrojí	$[-]$
i_c	celkový převodový poměr	$[-]$
i_k	převodový poměr k-tého rychlostního stupně	$[-]$
k	konstanta tenzometru	$[-]$
m_v	hmotnost vozidla	$[\text{kg}]$
M	nejvyšší hodnota přesnosti měřicího rozsahu	$[-]$
\bar{M}	aritmetický průměr točivého momentu motoru	$[\text{Nm}]$
M_i	točivý moment motoru naměřený při i-tém měření	$[\text{Nm}]$
M_k	točivý moment přivedený na kola vozidla	$[\text{Nm}]$
M_{\max}	maximální točivý moment motoru	$[\text{Nm}]$
$M(P_{\max})$	točivý moment při maximálním výkonu motoru	$[\text{Nm}]$
M_t	točivý moment motoru	$[\text{Nm}]$
M_{zK}	krouticí moment přivedený na kola	$[\text{Nm}]$
n	otáčky motoru	$[\text{min}^{-1}]$
\bar{n}_M	aritmetický průměr otáček při max. točivém momentu motoru	$[\text{min}^{-1}]$
n_{Mi}	otáčky motoru naměřené při max. momentu motoru při i-tém měření	$[\text{min}^{-1}]$
$n(M_{\max})$	otáčky motoru při maximálním točivém momentu motoru	$[\text{min}^{-1}]$
\bar{n}_P	aritmetický průměr otáček při maximálním výkonu motoru	$[\text{min}^{-1}]$
n_{Pi}	otáčky motoru naměřené při max. výkonu motoru při i-tém měření	$[\text{min}^{-1}]$
$n(P_{\max})$	otáčky motoru při maximálním výkonu motoru	$[\text{min}^{-1}]$
O_a	odpor zrychlení	$[\text{N}]$
O_f	odpor valení	$[\text{N}]$
O_{pos}	odpor daný posuvným zrychlením celého vozidla	$[\text{N}]$
O_{rot}	odpor zrychlení rotujících částí	$[\text{N}]$
O_s	odpor sklonu	$[\text{N}]$
O_T	odpor tahu přípojného vozidla	$[\text{N}]$
O_{vz}	odpor vzduchu	$[\text{N}]$
p	plnicí tlak	$[\text{kPa}]$
p_i	střední indikovaný tlak	$[\text{MPa}]$
\bar{P}	aritmetický průměr výkonu motoru	$[\text{kW}]$

P_e	efektivní výkonu motoru	[W]
P_i	výkon motoru naměřený při i-tém měření	[kW]
P_{\max}	maximální výkon motoru	[kW]
$P(M_{\max})$	výkon při maximálním točivém momentu motoru	[kW]
P_Z	ztrátový výkon	[W]
r	poloměr kola vozidla	[m]
r_b	délka výkyvného ramena brzdy	[m]
r_d	dynamický poloměr hnacího kola	[m]
s	sklon vozovky	[%]
S_x	čelní plocha vozidla	[m ²]
$u_A(M)$	standardní nejistota typu A pro točivý moment motoru	[Nm]
$u_A(n_M)$	standardní nejistota typu A pro otáčky při max. točivém momentu	[min ⁻¹]
$u_A(n_P)$	standardní nejistota typu A pro otáčky při maximálním výkonu	[min ⁻¹]
$u_A(P)$	standardní nejistota typu A pro výkon motoru	[kW]
$u_B(M)$	standardní nejistota typu B pro točivý moment motoru	[Nm]
$u_B(n_M)$	standardní nejistota typu B pro otáčky při max. točivém momentu	[min ⁻¹]
$u_B(n_P)$	standardní nejistota typu B pro otáčky při max. výkonu motoru	[min ⁻¹]
$u_B(P)$	standardní nejistota typu B pro výkon motoru	[kW]
$u_C(M)$	kombinovaná standardní nejistota pro točivý moment motoru	[Nm]
$u_C(n_M)$	kombinovaná standardní nejistota pro otáčky při max. toč. momentu	[min ⁻¹]
$u_C(n_P)$	kombinovaná standardní nejistota pro otáčky při max. výkonu	[min ⁻¹]
$u_C(P)$	kombinovaná standardní nejistota pro výkon motoru	[kW]
U_v	registrované napětí měřícího můstku	[V]
v_x	náporová rychlost větru	[m.s ⁻¹]
V_h	zdvihový objem válce	[m ³]
W_k	průřezový modul pružnosti hřídele v krutu	[m ³]

0 Úvod

Výkon motoru je jedním ze základních parametrů potřebných pro stanovení dynamických vlastností automobilu. V této diplomové práci byly prostřednictvím experimentálního měření na válcové zkušební stanoveny výkonové parametry vozidla s přeplňovaným spalovacím motorem.

Měřeným vozidlem je sériový automobil značky BMW, k jehož pohonu sloužil atmosférický zážehový čtyřválcový spalovací motor. V rámci experimentu byl tento agregát nahrazen zážehovým šestiválcem, na který bylo instalováno turbodmychadlo. Celé vozidlo je pak ještě podrobno mnoha úpravám. Tyto úpravy jsou však pouze experimentální a nejsou podloženy žádnými výpočty ani výkresovou dokumentací. Automobil je v současnosti využíván na rychlostní závody na přímých úsecích na uzavřených prostranstvích. Technický popis vozidla a popis provedených úprav je součástí této práce.

Měření výkonu probíhalo na válcové zkušební MAHA LPS 2000, která je umístěna v areálu dílen Střední školy dopravní v Ostravě – Vítkovicích. Před tímto úkonem byla nejprve sestavena metodika provádění zkoušek, ve které je uveden i podrobný popis měřícího stanoviště.

Pomocí statistických nástrojů byly naměřené výsledky zpracovány a následně vyhodnoceny. Pro snazší orientaci a celkový přehled v textu jsou naměřená data vhodně zpracována do tabulek a grafů.

Výsledkem této diplomové práce jsou vnější charakteristiky přeplňovaného spalovacího motoru. Tyto charakteristiky výrazně ovlivňuje plnicí tlak, který je prostřednictvím mechanické regulace obtokového ventilu během měření postupně navyšován.

1 Technický popis měřeného vozidla

V této kapitole je podrobně popsáno měřené vozidlo a také úpravy, které byly na vozidle provedeny. Nejsou zde ale uvedeny technologické postupy jednotlivých operací, jelikož by svým rozsahem překročily rámec této diplomové práce. Posledním bodem je pak ekonomické zhodnocení, kde je uvedena celková finanční náročnost této přestavby.

Jako základ pro tento experiment byl vybrán sériový automobil BMW e30 318i coupe, rok výroby 1988. Jedná se o dvoudveřové čtyřmístné kupé s motorem uloženým ve přední části vozu s pohonem zadních kol.



Obrázek č. 1.1 – BMW e30 318i coupe

1.1 Popis základních úprav

Jelikož se již na začátku předpokládal vysoký výkon vozidla, bylo zapotřebí provést mnoho změn. V následující podkapitole jsou popsány a finančně zhodnoceny úpravy pouze základních částí automobilu, které nejsou přímo spojeny se zástavbou turbodmychadla.

1.1.1 Spalovací motor

Stávající zážehový motor s označením M40B18 se zdvihovým objemem 1795 cm³, byl nahrazen zážehovým motorem typu M30B35 z modelu BMW e32 735i. Jedná se o kapalinou

chlazený řadový dvanáctiventilový šestiválec s vrtáním 92 mm, se zdvihem 86 mm a se zdvihovým objemem 3430 cm³. Maximální výkon udávaný výrobcem je 157 kW při 5700 min⁻¹ a nejvyšší točivý moment činí 305 Nm při 4000 min⁻¹. Ventilové rozvody jsou typu SOHC (Single Overhead Camshaft – jedna vačková hřídel). Velkou výhodou pro provádění úpravy je i litinový blok motoru, který je výjimečný svou životností, nicméně se negativně projeví na celkové hmotnosti vozidla. Motor je spárován s pětistupňovým plně synchronizovaným převodovým ústrojím. Točivý moment je na kola přiváděn pomocí spojovacího hřídele a samosvorného diferenciálu s převodovým poměrem 3,15.



Obrázek č. 1.2 – Zážehový spalovací motor M30B35

Tento agregát měl při koupi najeto cca 300 tisíc kilometrů. Pořizovací cena činila 3000 Kč. Po kompletní demontáži byl blok motoru srovnán snížením o 0,3 mm. U hlavy válců byl zvětšen průměr sacích kanálů, zabroušeny ventily a následně osazeny novým těsněním. Také hlava byla srovnána snížením o 0,13 mm. Aby se zachoval kompresní poměr, musely být sníženy i písty o 0,5 mm. Ojniční a hlavní ložiska na klikové hřídeli, napínací a vodící lišty, rozvodová kola, rozvodový řetěz a všechny simerinky a těsnění byly vyměněny za nové. Dodatečně jsou zde použity i ostříky pístů olejem, které pochází z motoru M50B25 z modelu BMW e36 325i. Celková cena úprav včetně pořizovacích nákladů činí 9500 Kč.

1.1.2 Spojka

Sériová spojka byla nahrazena spojkou Tilton. Jedná se o kovokeramickou třílamelovou spojkou s průměrem lamel 185 mm a tloušťkou obložení 2,62 mm. Tato spojka je určena především pro závodní automobily, jelikož neumožňuje plynulý rozjezd vozidla. Zaručuje přenos až 1260 Nm. Tento díl nebyl zakoupen jako nový, byl použit pouze jednou v závodu Nascar. Pořizovací cena včetně dopravy z USA byla 4500 Kč.



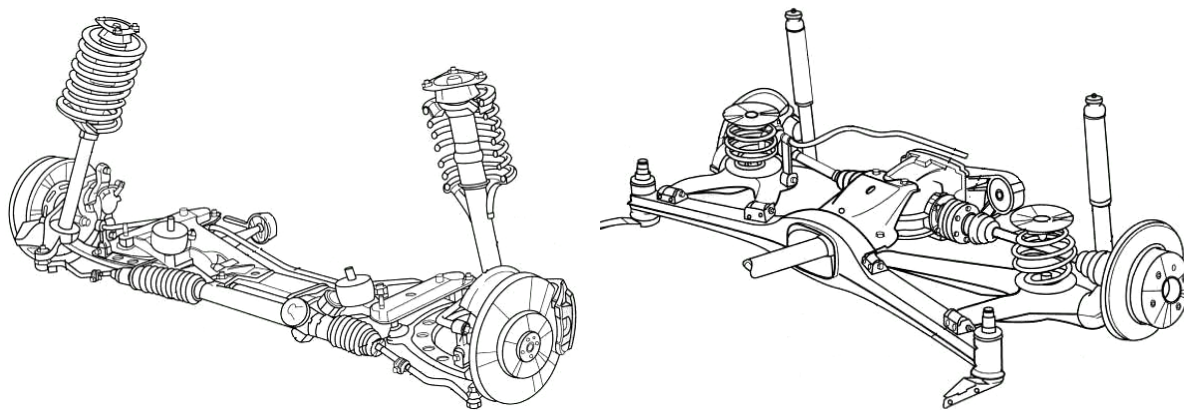
Obrázek č. 1.3 – Třílamelová kovokeramická spojka Tilton

1.1.3 Brzdy a podvozek

Vozidlo má ve standardním provedení rozteč děr pro šrouby kol 4x100 mm. Za použití dílů z modelu BMW e36 325i byla tato rozteč upravena na 5x120 mm.

Přední brzdy jsou osazeny čtyřpístkovými třmeny značky Brembo s průměrem pístků 2x40 mm a 2x44 mm. Vzduchem chlazené kotouče značky TRW mají rozměr 315x28 mm. Zadní brzdy se skládají z jednopístkových plouvoucích třmenů s průměrem pístků 38 mm a z jednoduchých kotoučů značky TRW s rozměrem 311x11 mm. Sériový posilovač brzd byl nahrazen dvojitým brzdovým posilovačem z modelu BMW e32 735i. Průměr hlavního brzdového válce je 25,4 mm.

Přední náprava je typu McPherson s tlumiči značky Sachs Advantage a se skrácenými originálními pružinami. Stabilizátor má průměr 22 mm. Zadní náprava má také tlumiče Sachs Advantage a originální pružiny. Zadní stabilizátor má průměr 14,5 mm.



Obrázek č. 1.4 – Přední a zadní náprava vozidla BMW e30 318i coupe [1]

Cena jednotlivých komponentů je následující: přední a zadní třmeny 1500 Kč, přední chlazené kotouče 3000 Kč, zadní jednoduché kotouče 2000 Kč. V součtu pak 6500 Kč.

1.1.4 Optické úpravy

Vzhled vozidla výrazně změnil M-Technic, což je tzv. body kit, tedy sada obsahující přední a zadní nárazník, prahové lišty a obkladové lišty na dveře, vyráběná jako příplatková výbava vozidla. Dále pak sedmnácti palcová dvoudílná kola BBS RC 090. Do budoucna je pak plánováno kompletní přelakování vozidla. Pořizovací cena těchto součástí není zahrnuta do výsledného ekonomického zhodnocení.

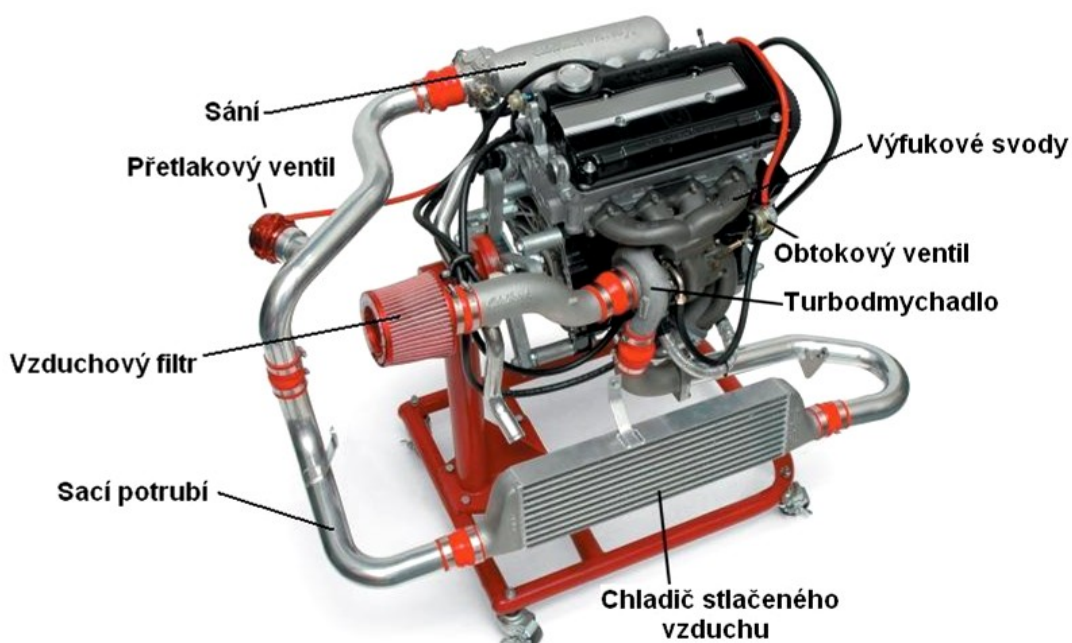


Obrázek č. 1.5 – BBS RC 090 a M-Technic

1.2 Instalace turbodmychadla

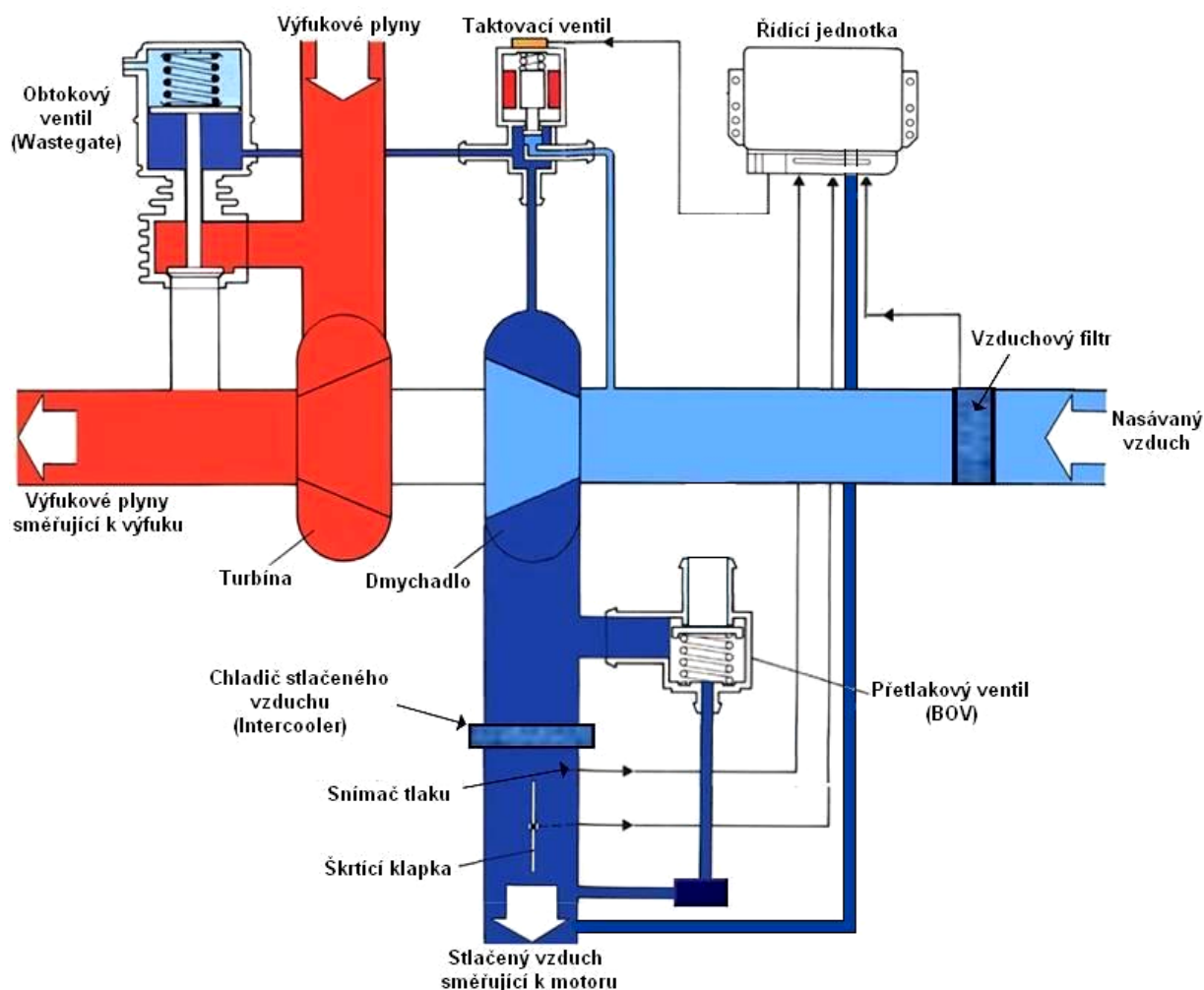
Přeplňování je jednou z mnoha možností, jak zvýšit účinnost a tedy i výkon spalovacího motoru. Cílem přeplňování je zvýšit množství vzduchu a také paliva, které je přiváděno do spalovacího prostoru za jednotku času. Řeší také zásadní nevýhodu spalovacích motorů, což je nízká hodnota točivého momentu při nízkých otáčkách motoru. Zvýšení plnicího tlaku ovšem znamená také vyšší maximální tlak ve spalovacím prostoru a tedy i větší zatížení pro klikový hřídel, ložiska, ojnice nebo samotný píst.

Existují dvě možnosti, jak přeplňovat spalovací motor. První variantou je mechanické přeplňování, kde je dmychadlo poháněno mechanickým převodem od klikového hřídele motoru. Mechanická vazba mezi klikovou hřídelí a dmychadlem je ovšem zdrojem nadměrného hluku. V současnosti se používá převod ozubenými koly nebo řemenový převod. V praxi to znamená, že dmychadlo ubírá část výkonu motoru a snižuje tak jeho účinnost. Přímá vazba otáček klikového hřídele s otáčkami dmychadla poskytují okamžitou odezvu, což je výhoda mechanického přeplňování, jelikož stlačený vzduch je k dispozici již od nejnižších otáček motoru. V dnešní době využívá mechanické přeplňování např. výrobce vozů Mercedes-Benz, který své modely označuje nápisem Kompressor. Druhou možností je spalovací motor přeplňovaný turbodmychadlem, který můžeme vidět na obrázku č. 1.6.



Obrázek č. 1.6 – Spalovací motor přeplňovaný turbodmychadlem [2] – upraveno

K přestavění atmosférického motoru na přeplňovaný je zapotřebí mnoha součástí. Na obrázku č. 1.7 je znázorněno jednoduché schéma přeplňování turbodmychadlem včetně potřebných základních komponentů, které zajišťují správnou činnost celého systému. V následujících podkapitolách je vysvětleno, jak tyto i další jednotlivé prvky pracují a k čemu slouží.



Obrázek č. 1.7 – Schematické znázornění přeplňovaného motoru turbodmychadlem [3]

1.2.1 Turbodmychadlo

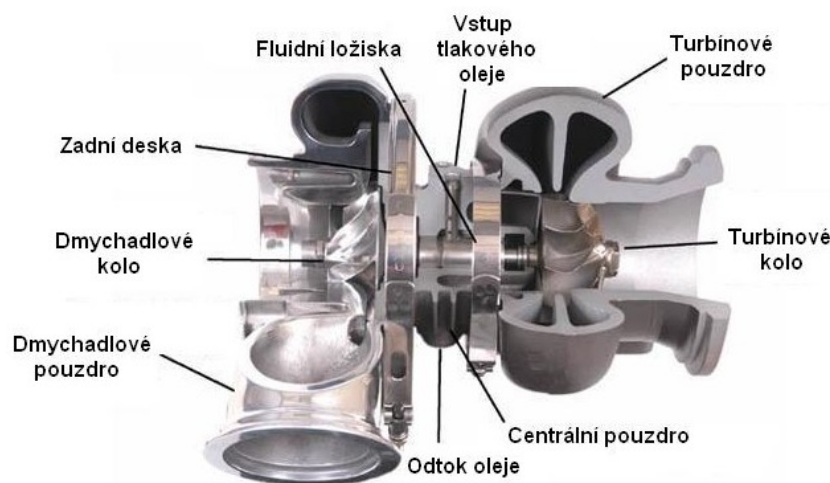
Základním rozdílem mezi mechanickým přeplňováním a přeplňováním turbodmychadlem je způsob pohonu dmychadla. Zatímco mechanický způsob využívá točivý moment klikového hřídele a snižuje tak účinnost spalovacího motoru, turbodmychadlo je poháněno výfukovými plyny, takže je využita energie, která je u nepřeplňovaných motorů odváděna bez využití.

Konstrukce

Turbodmychadlo se skládá ze dvou hlavních prvků. První část tvoří dmychadlo, druhou pak turbína. Dmychadlo dosahuje velmi vysokých otáček – 10000 až 300000 min^{-1} v závislosti na velikosti, váze rotujících částí, nárůstu tlaku a konstrukci turbodmychadla. Tak vysoké otáčky představovaly problém pro klasická kuličková ložiska, která by mohla explodovat. Proto se používají fluidní ložiska, ve kterých jsou pohybující se části odděleny a zároveň chlazeny tenkou vrstvou oleje [4]. Turbodmychadlo je součástí výfukového potrubí, a proto je vyrobeno z materiálů, které jsou schopny odolat vysokým teplotám.

Princip

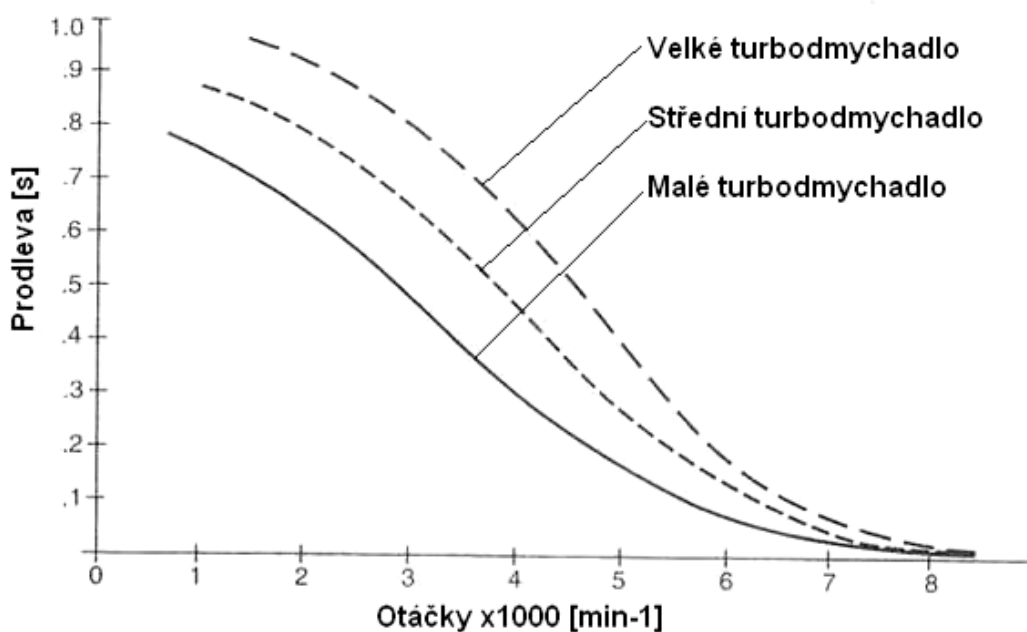
Turbína je roztáčena výfukovými plyny jdoucími ze spalovacího motoru. Radiálně proudící horké plyny uvádějí turbínu do rychlého otáčivého pohybu. Lopatky natočené dovnitř turbínového kola, svádějí plyny ke středu a ty pak následně axiálně vystupují. Dmychadlo je obvykle spojeno s turbínou jednou hřídelí, takže oba prvky dosahují stejných otáček. Poměry proudění jsou zde však opačné. Nasávaný vzduch vstupuje středem dmychadla axiálně a dále je lopatkami radiálně odstředován a při tom stlačován.



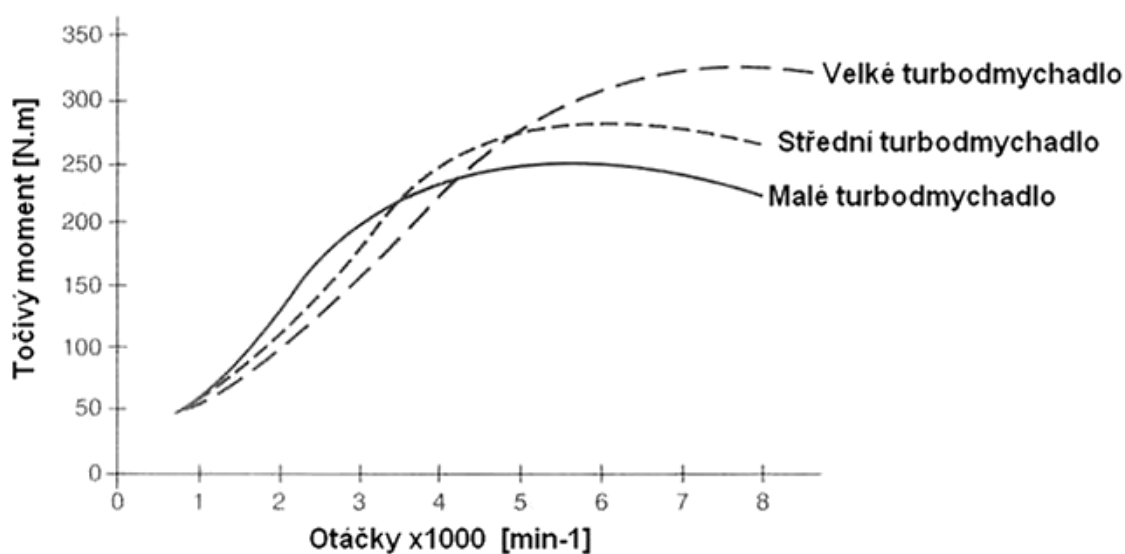
Obrázek č. 1.8 – Konstrukce turbodmychadla [5] – upraveno

Turboefekt – je prodleva, kterou cítí řidič vozidla mezi okamžikem, kdy sešlápně plynový pedál, a okamžikem, kdy pocítí zátah motoru způsobený turbodmychadlem. Je dán dobou, kterou potřebují plyny ve výfukovém systému k dosažení vyššího tlaku, a také rotační

setrvačností turbíny. Velikost turbodmychadla je přímo úměrná k době prodlevy, tedy čím větší turbodmychadlo, tím větší je i časová prodleva. Tento jev se vyskytuje pouze u automobilů, který pohání přeplňovaný spalovací motor turbodmychadlem. U mechanicky poháněných dmychadel tato prodleva neexistuje.



Obrázek č. 1.9 – Závislost velikosti turbodmychadla na době prodlevy [6] – upraveno



Obrázek č. 1.10 – Závislost velikosti turbodmychadla na točivém momentu motoru [6] - upraveno

V našem případě je ve vozidle umístěno turbodmychadlo Holset HX50, pocházející z nákladního vozidla Scania se zdvihovým objemem 9890 cm³. Průměr vstupu na dmychadlové části je 100 mm, výstupu pak 63 mm. Průměr výstupu na turbínové části je 76 mm, vstup je řešen přírubou T4. Jelikož se jedná o turbodmychadlo větších rozměrů, je delší i časová prodleva, ale ve vyšších otáčkách motoru je pak dosaženo většího točivého momentu – viz obrázky č. 1.9 a 1.10. Pořizovací cena turbodmychadla byla 5000 Kč.

Výfukové svody jsou vyrobeny z tub a varných kolen s vnějším průměrem 42 mm a tloušťkou stěny 2,5 mm – viz obrázek č. 1.11. V současné době jsou svody omotány termoizolační páskou, která eliminuje přestup tepla do motorového prostoru. Výfuk je zcela průchozí a je svařen z nerezových trub a kolen s vnějším průměrem 89 mm. Cena potřebného materiálu pro výrobu těchto součástí činila 3000 Kč.



Obrázek č. 1.11 – Výfukové svody

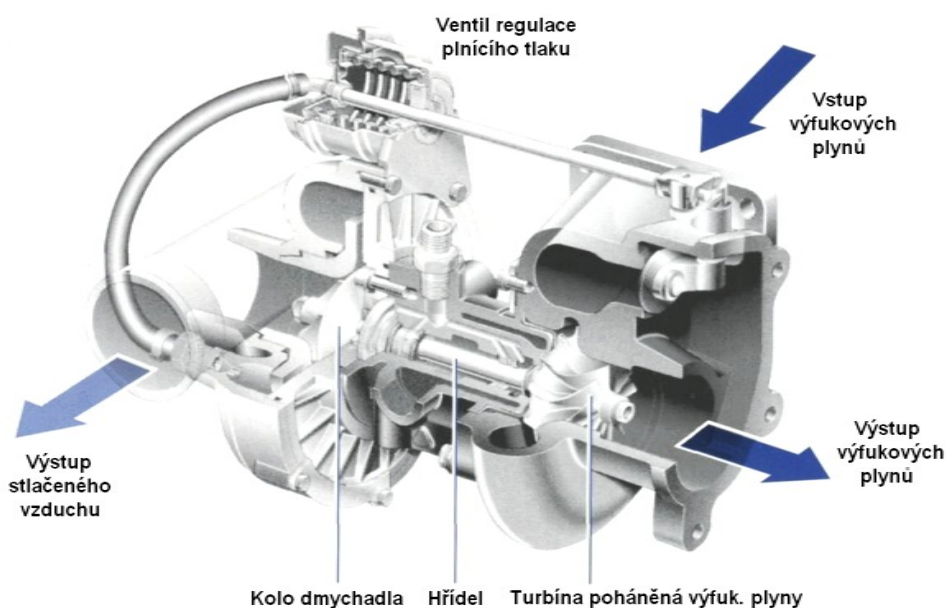
Mazání turbodmychadla je zajištěno tlakovým olejem, který je přiveden hadicí napojenou na vyrobenou T-redukci od snímače tlaku oleje v motoru. Odtékající olej z turbodmychadla je přímým vedením situován do olejové vany tak, aby nevznikal žádný odpor a nedocházelo tak k návratu oleje zpět a úniku přes ložiska do sání či výfukového potrubí.

1.2.2 Obtokový ventil (wastegate)

Obtokový ventil má za úkol odvádět výfukové plyny jdoucí k turbíně a regulovat tak její rychlost, resp. rychlost dmychadla. Primární funkcí wastegate je regulovat maximální plnicí tlak v sacím potrubí tak, aby nebylo přetěžováno turbodmychadlo i spalovací motor. Další

možností, jak v současné době účinně regulovat plnicí tlak, je turbodmychadlo s proměnnou geometrií rozváděcích lopatek turbíny (variabilní geometrie lopatek). V této kapitole bude vysvětlen princip pouze obtokového ventilu.

Existují dvě varianty wastegate – interní a externí. Interní obtokový ventil je integrován jako klapka do tělesa turbíny a je ovládán ventilem regulace plnicího tlaku – viz obrázek č. 1.12.



Obrázek č. 1.12 – Interní obtokový ventil

Externí obtokový ventil je umístěn samostatně, takže vyžaduje vlastní výfukové potrubí. Externí wastegate vykazuje přesnější regulaci než interní. Také může být mnohem větší, protože neexistují žádná omezení integrace ventilu do turbínového pouzdra. Velikost externího obtokového ventilu lze určit podle následujících kritérií.

Velikost wastegatu je nepřímo úměrná požadované úrovni plnicího tlaku:

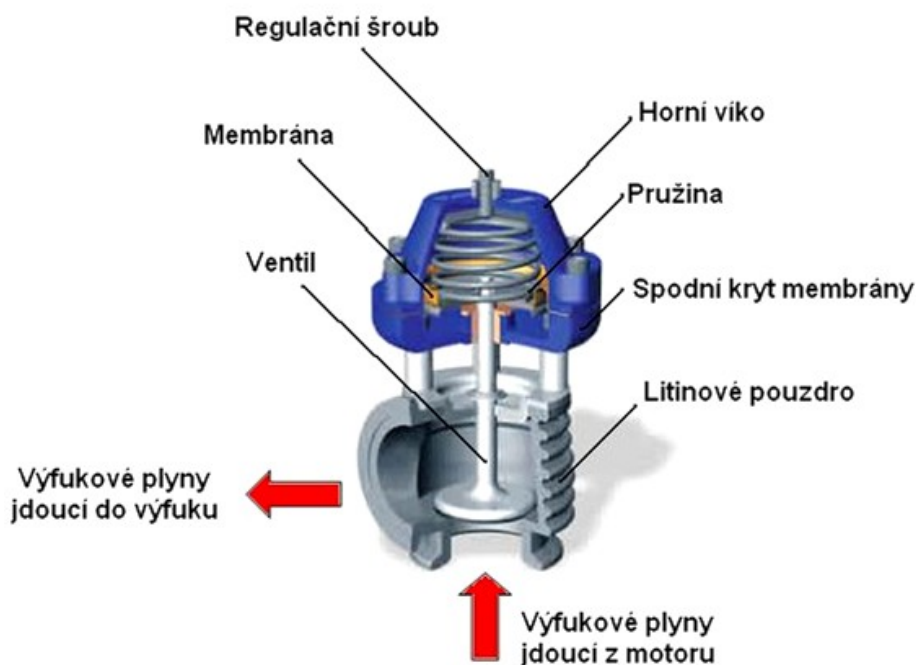
- velké turbodmychadlo / nízký plnicí tlak = větší wastegate,
- velké turbodmychadlo / vysoký plnicí tlak = menší wastegate,
- malé turbodmychadlo / nízký plnicí tlak = větší wastegate,
- malé turbodmychadlo / vysoký plnicí tlak = menší wastegate.

Závislost velikosti wastegate na výkonu motoru:

- velké turbodmychadlo / malý zdvih. objem motoru / nízký výkon = malý wastegate,
- velké turbodmychadlo / velký zdvih. objem motoru / nízký výkon = střední wastegate,
- velké turbodmychadlo / malý zdvih. objem motoru / vysoký výkon = velký wastegate,
- malé turbodmychadlo / malý zdvih. objem motoru / nízký výkon = malý wastegate,
- malé turbodmychadlo / velký zdvih. objem motoru / vysoký výkon = velký wastegate.

Konstrukce

Externí wastegate je složen z několika součástí. Hlavní část tvoří litinové pouzdro s obtokovým kanálem. Na obvod vstupní plochy dosedá regulační ventil, který je přitlačován pružinou. Průměr ventilu udává velikost celého wastegatu. Dále zde najdeme membránu, spodní kryt membrány a horní víko, které je spojeno se spodním krytem šesti imbusovými šrouby. Ve středu horního víka je pak umístěn regulační šroub, který svým otáčením zvyšuje či snižuje tuhost pružiny. Řez externím obtokovým ventilem je na obrázku č. 1.13. Správné umístění externího wastegatu ve výfukovém systému je znázorněno v příloze A.



Obrázek č. 1.13 – Externí obtokový ventil

Princip

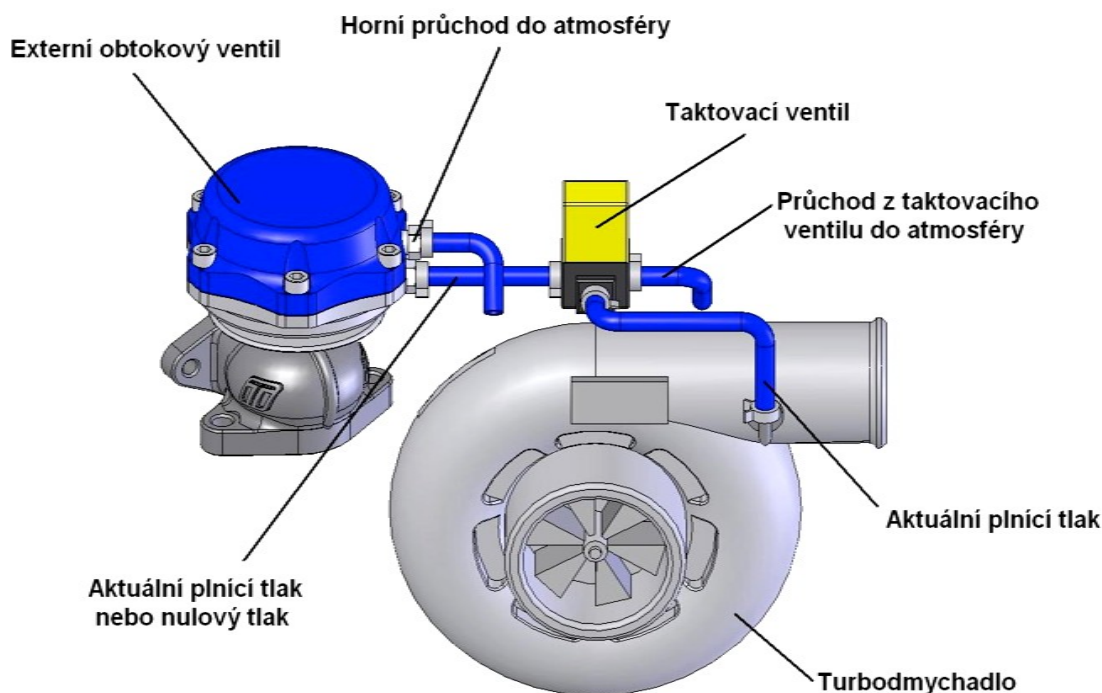
Část výfukových plynů jdoucí z motoru je přiváděna k obtokovému ventilu a zbytek proudí k turbodmychadlu. Spaliny svým tlakem pootevřou ventil a dále proudí do výfukového potrubí, aniž by navštívily turbodmychadlo. Poloha ventilu pak určuje plnicí tlak. Pokud je ventil zcela otevřen, dosáhneme minimálního plnicího tlaku. Pokud je ovšem uzavřen, plnicí tlak bude maximální. Ve skutečnosti ale platí, že ventil není ve statické poloze, ale dynamicky kmitá. Proto je nutné rozsah zdvihu ventilu vhodně regulovat. Existuje několik způsobů regulace – manuální, pneumatická, elektrická a hydraulická. Popsány jsou jen první dvě možnosti.

Manuální regulace

Tato varianta patří mezi nejjednodušší. V podstatě jsou dvě možnosti, jak manuálně regulovat plnicí tlak. První možností je výměna pružiny, která určuje svou tuhostí zdvih ventilu. Tedy čím tužší pružina, tím vyšší plnicí tlak. Druhou variantou je přitáhnutí regulačního šroubu na horním víku obtokového ventilu a tím zvýšení předpětí, tedy i celkový přítlak pružiny. Tato možnost byla použita při našem experimentálním měření.

Pneumatická regulace

V tomto případě je vzduchotěsný prostor, mezi spodním krytem membrány a membránou, pneumaticky spojen s taktovacím ventilem, který je řízen v závislosti na plnicím tlaku elektrickým signálem z řídicí jednotky. Snímač plnicího tlaku udává informaci o přesném plnicím tlaku v sacím potrubí. Pokud je tento tlak příliš nízký, je taktovací ventil řízený řídicí jednotkou aktivován tak, aby byl v prostoru mezi krytem a membránou snížen tlak a pružina uzavřela obtokový ventil. Následně se zvýší podíl výfukových plynů jdoucí k turbodmychadlu. Při příliš vysokém plnicím tlaku je pak taktovací ventil deaktivován, takže tlak mezi krytem a membránou se zvýší, odpor pružiny je překonán a obtokový ventil je otevřen. Poté se podíl výfukových plynů protékající turbínou sníží. Zapojení externího obtokového ventilu při pneumatické regulaci je znázorněno na obrázku č. 1.14.



Obrázek č. 1.14 – Pneumatická regulace externího obtokového ventilu

V našem případě je ve vozidle externí obtokový ventil Turbosmart – viz obrázek 1.15, kde je průměr regulačního ventilu 60 mm. Pořizovací cena byla 2500 Kč, včetně příslušenství. Tento wastegate je standardně regulován pneumaticky, nicméně pro experimentální měření byla díky snazšímu nastavení pro změny plnicího tlaku zvolena manuální regulace.

Snímač tlaku, včetně manometru, který je uvnitř vozidla a zobrazuje okamžitou hodnotu plnicího tlaku v sacím potrubí je od výrobce Brown cover. Cena těchto součástí byla 500 Kč.

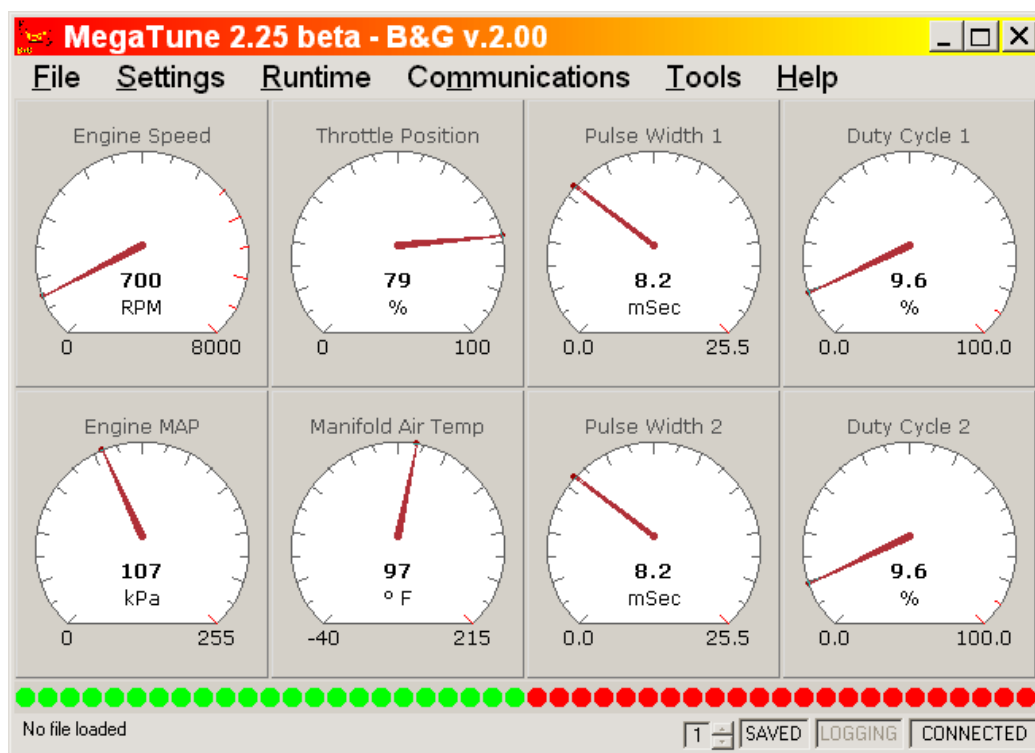


Obrázek č. 1.15 – Externí obtokový ventil Turbosmart – 60 mm

1.2.3 Řídící jednotka

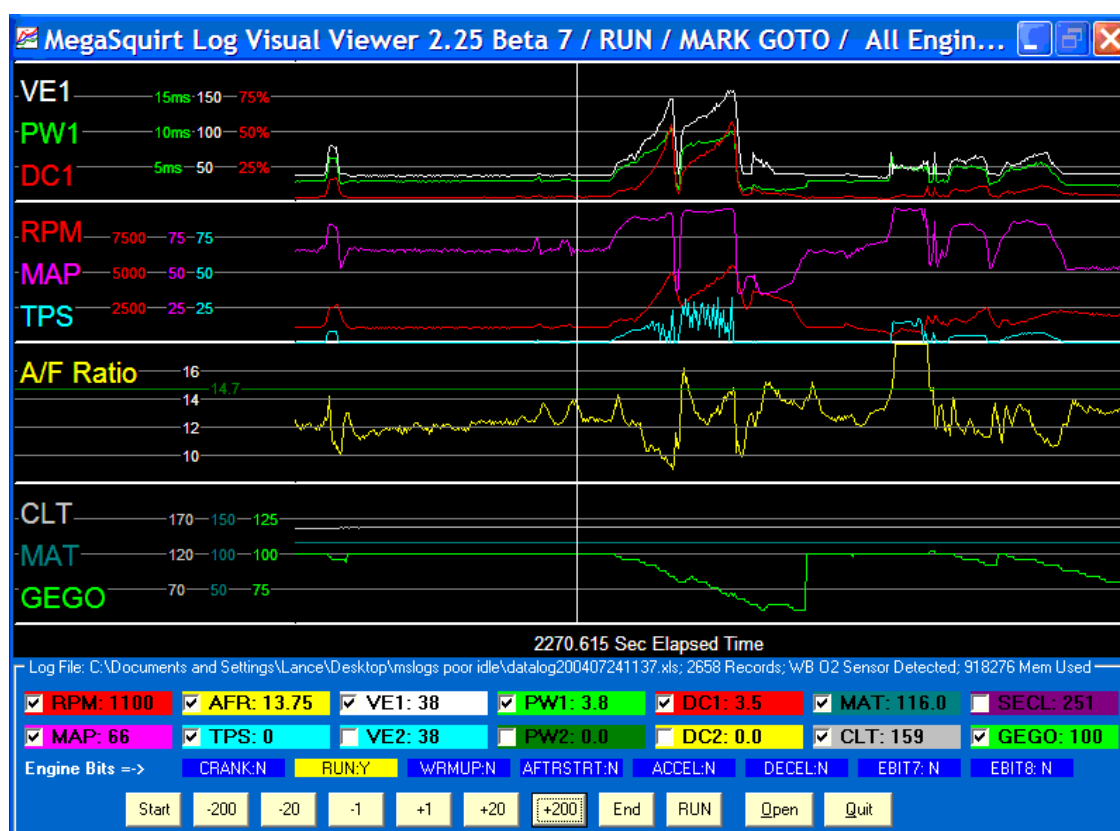
Limitem pro stlačenou směs ve válci u přeplňovaných motorů jsou také samozápaly nebo klepání motoru. Tyto problémy řeší programovatelná řídící jednotka, která dokáže řídit předstih zážehu směsi, ten je podstatně menší než u atmosférických motorů, a využít tak oktanový potenciál paliva.

V měřeném vozidle je plně programovatelná řídící jednotka Megasquirt MS-1 extra, která řídí vstřikování i induktivní zapalování. Vyhodnocováním údajů ze snímačů určuje délku a okamžik vstřiku a předstih. Hlavními údaji, které vstupují do řídící jednotky a slouží k výpočtu, jsou otáčky klikové hřídele, poloha škrtící klapky (0-100%) a tlak v sacím potrubí. Další údaje pak slouží jen ke korekci. Jako indikátor vydatnosti směsi je využívána širokopásmová lambda sonda. Má však pouze informativní charakter, takže zpětnovazební regulace není možná. Proto je nutné vytvořit tzv. palivové mapy s ohledem na bohatost směsi. Veškeré nastavení této řídící jednotky probíhá prostřednictvím softwarového programu MegaTune, v jehož režimu můžeme mimo jiné sledovat také aktuální hodnoty vstupujících parametrů – viz obrázek č. 1.16. Konektivita řídící jednotky s počítačem je zajištěna datovým kabelem.



Obrázek č. 1.16 – Software MegaTune – aktuální hodnoty

Jednou z mnoha možností programu MegaTune, je také nahrávat a následně vyhodnocovat režim jízdy. Tato možnost byla využita při experimentálním měření, kdy byl pomocí programu odečten plnicí tlak při určitých otáčkách. Vizualizace je na obrázku č. 1.17, kdy jsou v čase cca 2270 sekund (čas lze posouvat skokově vpřed i vzad) od začátku nahrávání zobrazeny okamžité hodnoty. Například otáčky motoru jsou 1100 min^{-1} , plnicí tlak je 66 kPa, poloha škrtící klapky je v mezní poloze, tedy 0%. Z grafu je pak patrné, že spalovací motor běží na volnoběžné otáčky.



Obrázek č. 1.17 – Software MegaTune – režim jízdy

Engine Speed (RPM) – otáčky motoru [min^{-1}]

Throttle Position (TPS) – snímač polohy škrtící klapky [%]

Pulse Width (PW) – šířka impulsu vstřikování [ms]

Engine MAP (MAP) – plnicí tlak [kPa]

Manifold Air Temp (IATS) – teplota nasávaného vzduchu [$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$]

A/F Ratio – vydatnost směsi [-]

Pořizovací cena řídicí jednotky Megasquirt MS-1 extra včetně softwaru byla 5000 Kč.

1.2.4 Lambda sonda

Spalovací motor potřebuje ke svému provozu určitý poměr vzduchu a paliva. V ideálním případě je pro spálení 1 kg benzínu potřeba 14,7 kg vzduchu. Převedeme-li hmotnostní poměr na objemy, ke spálení 1 litru paliva budeme potřebovat řádově 10000 litrů vzduchu. Tento ideální směšovací poměr se označuje jako stechiometrická směs [7].

V našem případě je ve vozidle set Innovate LC-1 – viz obrázek č. 1.18, který je tvořen širokopásmovou lambda sondou, A/D převodníkem, analogickým ukazatelem aktuální vydatnosti směsi, který je pro snadnou kontrolu stavu umístěn ve vozidle a softwarem určeným ke kalibraci. Digitální signál vystupující z lambda sondy pak standardně vstupuje do řídicí jednotky. Cena za tento set činila 4000 Kč.



Obrázek č 1.18 – Innovate LC-1

1.2.5 Palivo

Díky svému vyššímu oktanovému potenciálu a antidetonačním vlastnostem je pro provoz vozidla využíván ethanol s označením E85. Značnou nevýhodou tohoto vysoce hodnotného biopaliva je neschopnost na sebe vázat vodu, což má za následek častý vznik koroze v palivovém systému. Proto bylo palivové vedení v měřeném vozidle vyměněno za nerezové. Upraveny byly i palivové mapy, jelikož použití etanolu vyžaduje zvýšení objemu paliva jdoucího do spalovacího prostoru o 30% oproti standardnímu benzínu. Upraven byl také předstih, který byl zvýšen cca o 4°.

1.2.6 Vstřikovací ventily

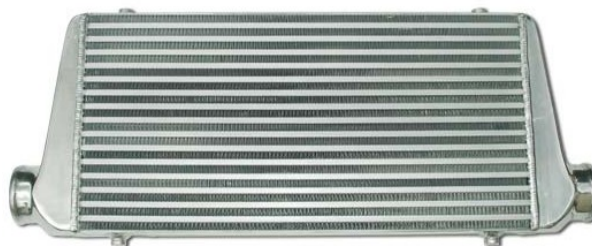
Jelikož budeme do spalovacího prostoru dodávat větší množství vzduchu, musíme zároveň dodávat i více paliva tak, abychom získali stechiometrickou směs. K tomu nám posloužily vysokoimpedanční vstřikovací ventily Siemens Dek a 850cc s průtokem 10 gramů paliva za sekundu při tlaku paliva 300 kPa na vstřikovací liště. Pořizovací cena všech šesti vstřikovacích ventilů byla 6000 Kč.



Obrázek č. 1.19 – Vstřikovací ventil Siemens Dek a 850cc

1.2.7 Chladič stlačeného vzduchu (intercooler)

Zásadní problém u přeplňovaných motorů tvoří vysoká teplota výfukových plynů, která negativně ovlivňuje teplotu nasávaného vzduchu, protože cílem je dopravit do válců maximální objem vzduchu, jehož hustota se zvyšuje s klesající teplotou. Řešením je chladič stlačeného vzduchu, tzv. intercooler, který dmychadlem stlačený zahřátý vzduch ochladí ještě před vstupem do válců. Ve vozidle je umístěn tento chladič o rozměrech 600x300x74 mm s vnitřním průměrem vstupu 76 mm a 89 mm výstupem, který byl zakoupen za 3500 Kč.



Obrázek č. 1.20 – Chladič stlačeného vzduchu

1.2.8 Sací potrubí

Sací potrubí je vyrobeno s hliníkových trub, které jsou vedeny od dmyhadla přes intercooler ke škrticí klapce. Silikonové pružné tvarovky pak zajišťují spoje mezi jednotlivými díly, takže je zajištěna i pružnost celého vedení. V celém tomto systému jsou kladeny vysoké nároky na těsnost. Škrticí klapka byla použita z motoru M60B40 s průměrem klapky 90 mm. Samotné sání (viz obrázek č. 1.21) je svařeno z hliníkových tabulí, průměr trub jdoucí k sacím kanálům je 50 mm s tloušťkou stěny 2 mm. Cena materiálu byla 1500 Kč.



Obrázek č. 1.21 – Hliníkové sání včetně škrticí klapky

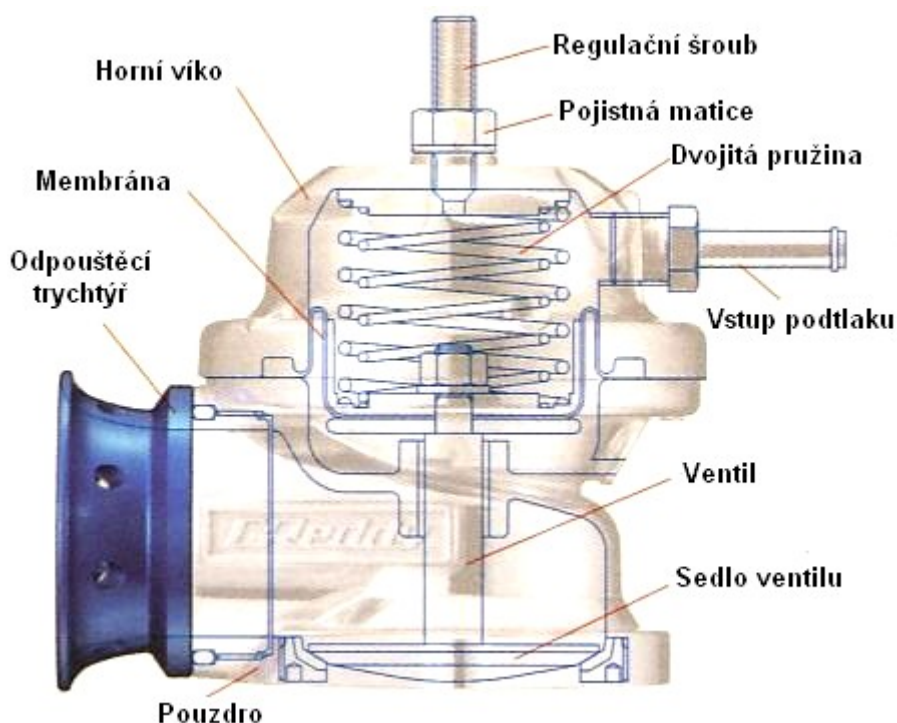
1.2.9 Přetlakový ventil

Přetlakový ventil (Blow Off Valve - BOV) má za úkol odpouštět hromadící se tlak mezi dmyhadlem a škrticí klapkou. Po uzavření škrticí klapky, vlivem přehřazení či decelerace, dochází ke zvyšování plnicího tlaku v sacím potrubí. Přebytečný tlak nemá kam unikat, takže dochází k brzdění dmyhadlového kola a přehřívání celého turbodmyhadla. Po opětovném sešlápnutí akceleračního pedálu nastává výše zmíněný turboefekt, protože turbodmyhadlo díky této ztrátě funguje mimo své pracovní otáčky. Řešením je tedy přetlakový ventil, který stlačený vzduch mezi dmyhadlem a škrticí klapkou ventiluje do atmosféry.

Konstrukce

Přetlakový ventil má velmi podobnou konstrukci jako obtokový ventil. Hlavní část tvoří pouzdro a odpouštěcí trychtýř. Na obvod vstupní plochy dosedá ventil, který je přitlačován dvojitou pružinou. Stejně jakou u wastegatu, průměr ventilu udává velikost celého

přetlakového ventilu. Opět zde najdeme membránu a horní víko, ze kterého je vyústění pro přívod podtlaku. Ve středu horního víka je pak umístěn regulační šroub, který svým otáčením zvyšuje či snižuje tuhost pružin. Řez přetlakovým ventilem je na obrázku č. 1.22.



Obrázek č. 1.22 – Přetlakový ventil – BOV

Princip

V momentě, kdy dojde k uzavření škrtící klapky, vzniká za ní (směrem k motoru) podtlak a před ní (směrem od dmyhadla) přetlak. Přetlakový ventil, umístěn právě mezi dmyhadlo a škrtící klapku, je podobně jako u podtlakového brzdového posilovače, spojen se sáním podtlakovou hadicí. Díky podtlaku přiváděnému do prostoru mezi membránou a horní víko je překonáván odpor pružiny, ventil se otevírá a přebytečný přetlak uniká do atmosféry za doprovodu syčivého zvuku. Při opětovném otevření škrtící klapky se tlaky na obou stranách srovnají, mezi membránou a horním víkem dochází ke zvýšení tlaku a dvojitá pružina tak ventil opět uzavírá. Regulaci je možno provádět mechanicky přes regulační šroub, čímž se opět zvyšuje nebo snižuje předpětí pružiny.

V našem případě je ve vozidle přetlakový ventil Tial – viz obrázek 1.23, kde je průměr ventilu 50 mm. Pořizovací cena byla 2200 Kč.



Obrázek č. 1.23 – Přetlakový ventil Tial – 50 mm

1.3 Technické a ekonomické zhodnocení

Technické parametry měřeného vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 1.1. Hodnoty výkonu a točivého momentu spalovacího motoru jsou zatím neznámé.

Tabulka č. 1.1 – Technické parametry měřeného vozidla BMW e30 coupe

PARAMETR	HODNOTA	JEDNOTKA
Rok výroby	1988	
Stav tachometru	300 000	km
Typ motoru	zážehový	
Zdvihový objem motoru	3430	cm ³
Počet válců	6	
Počet ventilů	12	
Výkon motoru / při otáčkách	-	kW / min ⁻¹
Točivý moment motoru / při otáčkách	-	Nm / min ⁻¹
Počet rychlostních stupňů	5+R	
Pohotovostní hmotnost	1270	kg
Délka vozidla	4325	mm
Šířka vozidla	1645	mm
Výška vozidla	1380	mm
Rozvor	2570	mm
Rozměr předních pneumatik	205/45 R17	
Rozměr zadních pneumatik	245/35 R17	

Ekonomické zhodnocení určuje celkovou finanční náročnost přestavby měřeného automobilu. Konečná cena za prvky potřebné k instalaci turbodmychadla je v tomto případě 53 700 Kč – viz tabulka č. 1.2. Současnou podobu vozidla lze vidět na obrázku č. 1.24.

Tabulka č. 1.2 – Ekonomické zhodnocení použitých součástí

PRVEK	CENA
Spalovací motor	9 500 Kč
Keramická spojka Tilton	4 500 Kč
Třmeny brzd	1 500 Kč
Brzdové kotouče	5 000 Kč
Turbodmychadlo Holset HX50	5 000 Kč
Řídící jednotka Megasquirt MS-1	5 000 Kč
Obtokový ventil Turbosmart	2 500 Kč
Přetlakový ventil Tial	2 200 Kč
Chladič stlačeného vzduchu	3 500 Kč
Širokopásmová lambda sonda	4 000 Kč
Ukazatel plnicího tlaku	500 Kč
Vstřikovací ventily Siemens Dekka	6 000 Kč
Sací potrubí	1 500 Kč
Výfukové potrubí	3 000 Kč
Celkem	53 700 Kč



Obrázek č. 1.24 – BMW e30 335i turbo

2 Problematika měření výkonu

Výkon spalovacího motoru lze měřit několika způsoby. Mezi metody přímého stanovení výkonu spalovacího motoru patří:

- měření výkonu motoru pomocí motorové brzdy,
- měření výkonu motoru pomocí válcového dynamometru,
- měření výkonu motoru pomocí indikace spalovacího tlaku,
- měření pomocí snímání točivého momentu na klikovém hřídeli motoru.

2.1 Výkon motoru

Výpočet efektivního výkonu spalovacího motoru

Efektivní výkon spalovacího motoru (výkon, který je přiveden na spojku vozidla) je dán součinitelem velikosti točivého momentu a okamžité hodnoty úhlové rychlosti klikového hřídele.

$$P_e = M_t \cdot \omega [W] \quad (2.1)$$

kde:

P_e efektivní výkonu motoru [W]

M_t točivý moment motoru [Nm]

ωúhlová rychlost [rad.s^{-1}]

Výpočet točivého momentu motoru

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že se hodnota výkonu motoru zjišťuje výpočtem. K určení točivého momentu a úhlové rychlosti využijeme tyto známé vztahy.

$$M_t = F \cdot r [Nm] \quad (2.2)$$

kde:

F síla na rameni [N]

r délka ramene [m]

Výpočet úhlové rychlosti

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \text{ [rad.s}^{-1}\text{]} \quad (2.3)$$

kde:

n..... otáčky motoru [s⁻¹]

2.1.1 Měření výkonu motoru pomocí motorové brzdy

Za účelem stanovení hodnoty výkonu spalovacího motoru zjišťujeme velikost reakční síly ramene brzdy vždy při konstantních otáčkách motoru. Motorové brzdy mohou být aktivní nebo pasivní. Také je možné rozdělení podle principu na elektrické a hydraulické. Zatěžovaný motor musí být demontován z vozidla a poté spojen s hřídelí brzdy na měřicím stanovišti.



Obrázek č. 2.1 – Měření výkonu motoru na motorové brzdě AVL [8]

Výpočet efektivního výkonu při měření pomocí motorové brzdy

$$P_e = F_b \cdot r_b \cdot \omega \text{ [W]} \quad (2.4)$$

kde:

F_b..... síla na rameni brzdy [N]

r_b..... délka výkyvného ramena brzdy [m]

ω..... úhlová rychlost [rad.s⁻¹]

2.1.2 Měření výkonu motoru pomocí válcového dynamometru

Hlavní nevýhodou demontáže spalovacího motoru z vozidla odstraňuje metoda měření výkonu motoru pomocí válcového dynamometru, kdy se výkon měří na obvodu hnacích kol vozidla. Takto změřený výkon je nižší, protože dochází k mechanickým ztrátám v převodovém a rozvodovém ústrojí, a také k prokluzu pneumatik na válcích. Tyto ztráty nelze přesně stanovit, takže i přes provádění doběhové decelerační zkoušky se hodnoty změřené ve více zkušebnách mírně liší.



Obrázek č. 2.2 – Měření výkonu motoru na válcové zkušebně MAHA LPS 2000

Výpočet efektivního výkonu při měření pomocí válcového dynamometru

$$P_e = F_k \cdot r_d \cdot \omega_k + P_Z \text{ [W]} \quad (2.5)$$

kde:

F_k síla na obvodu hnacího kola [N]

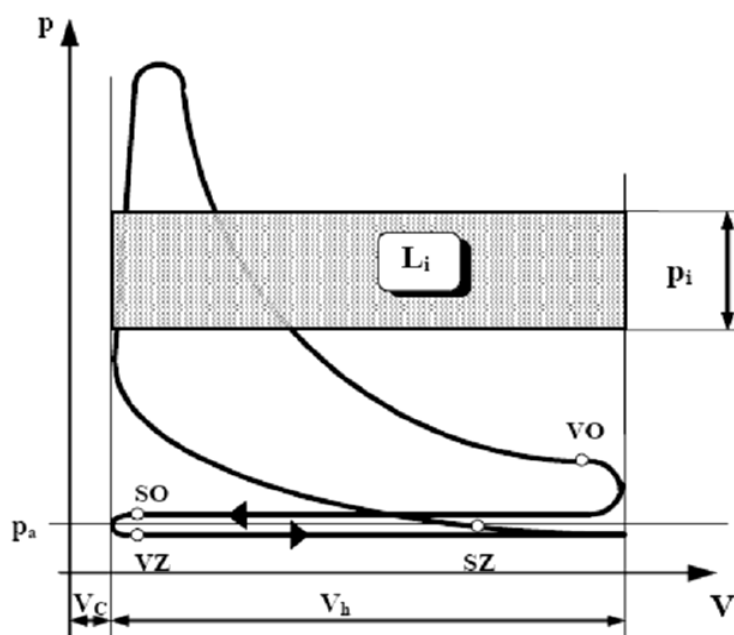
r_d dynamický poloměr hnacího kola [m]

ω_k úhlová rychlost hnacího kola [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

P_Z ztrátový výkon [W]

2.1.3 Měření výkonu motoru pomocí indikace spalovacího tlaku

Tato metoda slouží k určení indikovaného výkonu motoru na základě snímání tlaku ve spalovacím prostoru a současném měření polohy klikového hřídele. Nevýhodou je příliš vysoká cena vysokotlakých snímačů tlaku. Efektivní výkon je proti výkonu indikovanému snížen o velikost třecích ztrát. Vzájemný poměr pak určuje mechanickou účinnost spalovacího motoru.



Obrázek č. 2.3 – Indikátorový diagram čtyřdobého motoru [8]

Výpočet indikovaného výkonu při měření pomocí indikace spalovacího tlaku

$$P_i = \frac{2}{\tau} \cdot p_i \cdot V_h \cdot n \cdot i \text{ [W]} \quad (2.6)$$

kde:

τtaktnost motoru, 2-dvoudobý, 4-čtyřdobý [-]

p_istřední indikovaný tlak [MPa]

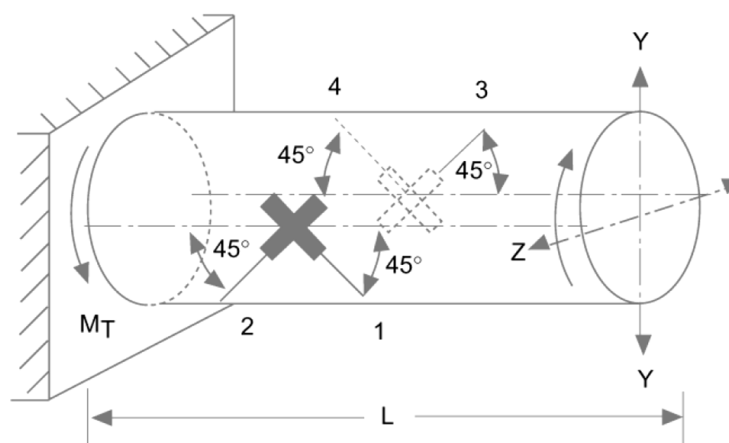
V_h zdvihový objem válce [m³]

n otáčky motoru [s⁻¹]

i počet válců [-]

2.1.4 Měření pomocí snímání točivého momentu na klikovém hřídeli motoru

Na základě deformace klikového hřídele na výstupním konci lze pomocí tenzometrických snímačů změřit točivý moment.



Obrázek č. 2.4 – Měření torzní deformace tenzometry [8]

Výpočet efektivního výkonu při měření pomocí snímání točivého momentu

$$P_e = \frac{2 \cdot U_v \cdot G \cdot W_k \cdot \omega}{k \cdot E} \quad [W] \quad (2.7)$$

kde:

U_v registrované napětí měřicího můstku [V]

G modul pružnosti ve smyku [MPa]

W_k průřezový modul pružnosti hřídele v krutu [m³]

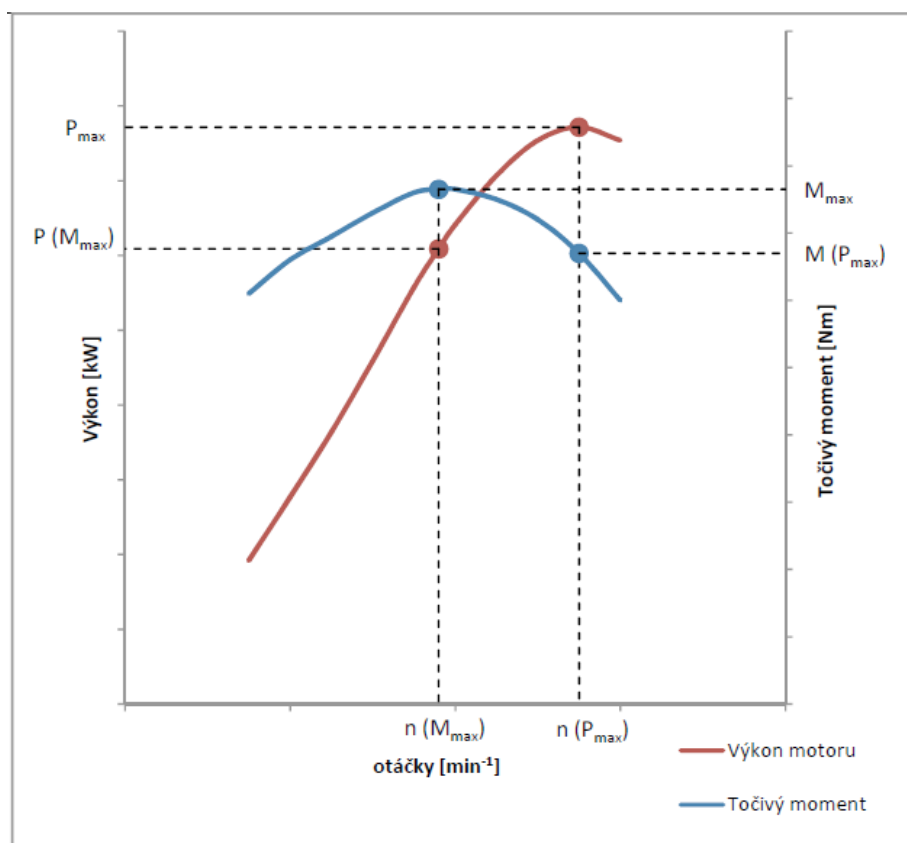
ωúhlová rychlost [rad.s⁻¹]

k konstanta tenzometru [-]

E vstupní napětí [V]

2.1.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru

Vnější charakteristika (nebo také rychlostní charakteristika) spalovacího motoru popisuje průběhy točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách motoru, na jejichž základě se stanoví dynamické vlastnosti automobilu. Tyto průběhy charakterizuje několik významných bodů, jejichž hodnoty pak určují některé ze statických charakteristických parametrů spalovacího motoru.



Obrázek č. 2.5 – Vnější charakteristika spalovacího motoru [9]

P_{max}	maximální výkon motoru [kW]
M_{max}	maximální točivý moment motoru [Nm]
$P(M_{max})$	výkon při maximálním točivém momentu motoru [kW]
$M(P_{max})$	točivý moment při maximálním výkonu motoru [Nm]
$n(M_{max})$	otáčky motoru při maximálním točivém momentu motoru [min^{-1}]
$n(P_{max})$	otáčky motoru při maximálním výkonu motoru [min^{-1}]

2.2 Přenos výkonu na kola vozidla

Výkon motoru se přes převodové a rozvodové ústrojí přivádí na kola vozidla. Zde však vlivem tření vznikají značné ztráty, které snižují maximální hodnotu výkonu přivedeného na kola vozidla. Tyto ztráty se na válcové zkušebně zjišťují pomocí tzv. decelerační zkoušky. Výkon motoru je pak dán součtem výkonu na kolech a ztrátového výkonu.

2.3 Korekce měřeného výkonu

Při měření na válcové zkušebně je zjišťován výkon, který je ovlivněn korekcemi podle norem DIN a ISO nebo podle směrnic EHS a ECE-R. Tyto korekce berou v potaz okolní vlivy, které příznivě či nepříznivě ovlivňují výsledný výkon spalovacího motoru. Jde o tyto fyzikální veličiny:

- teplota nasávaného vzduchu, která je nepřímo úměrná k výkonu motoru,
- vlhkost vzduchu, která je přímo úměrná k výkonu motoru,
- tlak vzduchu, který je přímo úměrný k výkonu motoru.

2.4 Hnací síla přivedená na kola vozidla

Zdrojem výkonu pro pohon silničního vozidla je spalovací motor, který je pro tento případ charakterizován točivým momentem na výstupu hřídele a otáčkami klikové hřídele.

Výpočet hnací síly přivedené na kola vozidla

Hnací síla přivedená na kola vozidla je vyjádřena jako podíl točivého momentu motoru k poloměru kola.

$$F_k = \frac{M_k}{r} \text{ [N]} \quad (2.8)$$

kde:

F_k hnací síla přivedená na kola vozidla [N]

M_k točivý moment přivedený na kola vozidla [Nm]

r poloměr kola vozidla [m]

Výpočet točivého momentu přivedeného na kola vozidla

Hodnotu točivého momentu přivedeného na kola vozidla vypočteme jako součin točivého momentu motoru, celkovým převodovým poměrem a účinností převodového ústrojí.

$$M_k = M_t \cdot i_c \cdot \eta_c \text{ [Nm]} \quad (2.9)$$

kde:

M_t točivý moment motoru [Nm]

i_c celkový převodový poměr [-]

η_c celková účinnost převodového ústrojí, (0,9 – 0,93) [-]

Výpočet celkového převodového poměru

Celkový převodový poměr se vypočte jako součin převodového poměru určitého rychlostního stupně a převodového poměru rozvodového ústrojí.

$$i_c = i_k \cdot i_0 \text{ [-]} \quad (2.10)$$

kde:

i_k převodový poměr k-tého rychlostního stupně [-]

i_0 převodový poměr rozvodového ústrojí [-]

Konečný výpočet hnací síly přivedené na kola vozidla

$$F_k = \frac{M_t \cdot i_c \cdot \eta_c}{r} \text{ [N]} \quad (2.11)$$

2.5 Rovnice pohybu silničního vozidla

Definice základní rovnice pohybu silničního vozidla vychází z rovnováhy podélných sil působících na vozidlo – viz obrázek č. 2.6. Rovnice vznikne dosazením jednotlivých odporů do uvedené rovnováhy sil.

Výpočet hnací síly v podélném směru

$$F = O_s + O_f + O_{vz} + O_a + O_T \text{ [N]} \quad (2.12)$$

kde:

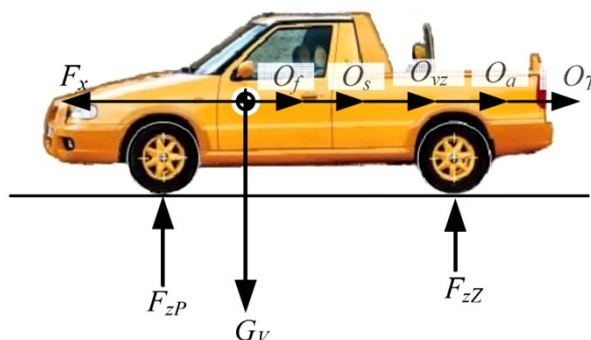
O_s odpor sklonu [N]

O_fodpor valení [N]

O_{vz}odpor vzduchu [N]

O_a odpor zrychlení [N]

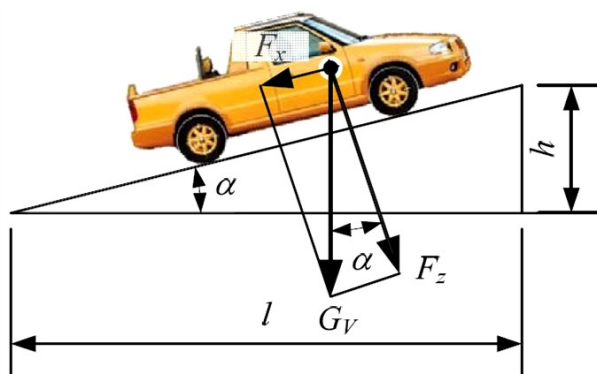
O_Todpor tahu přípojného vozidla [N], (nebudeme se zabývat)



Obrázek č. 2.6 – Vnější síly působící na vozidlo [10]

2.5.1 Odpor sklonu

Stanovení odporu sklonu vychází z teorie silového působení na těleso na nakloněné rovině. K určení odporu sklonu poslouží obrázek č. 2.7.



Obrázek č. 2.7 – Vozidlo na nakloněné rovině [10]

Výpočet síly rovnoběžné se směrem jízdy

$$F_x = G_V \cdot \sin \alpha = m_V \cdot g \cdot \sin \alpha \text{ [N]} \quad (2.13)$$

kde:

G_Vtíha vozidla [N]

m_V hmotnost vozidla [kg]

g tíhové zrychlení [m.s^{-2}]

Výpočet úhlu sklonu vozovky

$$\alpha = \arctg \frac{s}{100} \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.14)$$

kde:

ssklon vozovky [%]

Výpočet odporu sklonu

$$O_s = G_V \cdot \sin \alpha = G_V \cdot \sin \left(\arctg \frac{s}{100} \right) \text{ [N]} \quad (2.15)$$

2.5.2 Odpor valení

Vzniká jako důsledek deformace pneumatik při styku kol s vozovkou. Stykem kola s podložkou je tvořena plocha, která se nazývá stopa.

Výpočet radiální reakce vozovky

$$F_z = G_V \cdot \cos \alpha \text{ [N]} \quad (2.16)$$

Výpočet součinitele odporu valení

$$f = \frac{e}{r} \text{ [-]} \quad (2.17)$$

kde:

erameno valení [m]

rpoloměr kola [m]

Hodnota součinitele odporu valení je ovlivněna mnoha faktory:

- vlivem povrchu vozovky,
- vlivem huštění pneumatiky,
- vlivem rychlosti vozidla.

Výpočet odporu valení

$$O_f = F_z \cdot \frac{e}{r} = G_v \cdot \cos \alpha \cdot \frac{e}{r} = G_v \cdot \cos \alpha \cdot f \text{ [N]} \quad (2.18)$$

2.5.3 Odpor vzduchu

Tento odpor představuje síly, které působí na vozidlo, které se pohybuje prostředím. Jedná se tedy o aerodynamické síly. Velikost těchto sil ovlivňuje několik faktorů:

- tvar a povrch vozidla,
- rozměry vozidla,
- fyzikální vlastnosti prostředí,
- náporová rychlost.

Výpočet odporu vzduchu

$$O_{vz} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_x^2 \cdot c_x \cdot S_x \text{ [N]} \quad (2.19)$$

kde:

ρ hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

v_x náporová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

c_x součinitel odporu vzduchu [-]

S_x čelní plocha vozidla [m^2]

Hodnotu čelní plochy lze zjistit z dokumentace výrobce, planimetrickým měřením obrazce obrysu vozidla nebo přibližným výpočtem, kdy je hodnota rovna součinu (0,7 – 0,85), šířky a výšky vozidla. Hodnoty součinitele odporu vzduchu se u běžných osobních automobilů pohybují v rozmezí 0,3 – 0,4.

2.5.4 Odpor zrychlení

Setrvačné síly, které představují odpor zrychlení, působí na vozidlo při změně jeho rychlosti.

Výpočet odporu zrychlení

$$O_a = O_{pos} + O_{rot} \text{ [N]} \quad (2.20)$$

kde:

O_{pos}odpor daný posuvným zrychlením celého vozidla [N]

O_{rot} odpor zrychlení rotujících částí [N]

Výpočet posuvného odporu

$$O_{pos} = m_v \cdot a \text{ [N]} \quad (2.21)$$

kde:

azrychlení vozidla [m.s^{-2}]

Výpočet odporu zrychlení rotujících částí

$$O_{rot} = \frac{M_{zK}}{r} \Rightarrow \left(1 + \frac{M_{zK}}{m_v \cdot r}\right) = \delta \text{ [N]} \quad (2.22)$$

kde:

M_{zK}kroutící moment přivedený na kola [Nm]

δ součinitel vlivu rotujících částí [-]

Konečný výpočet odporu zrychlení

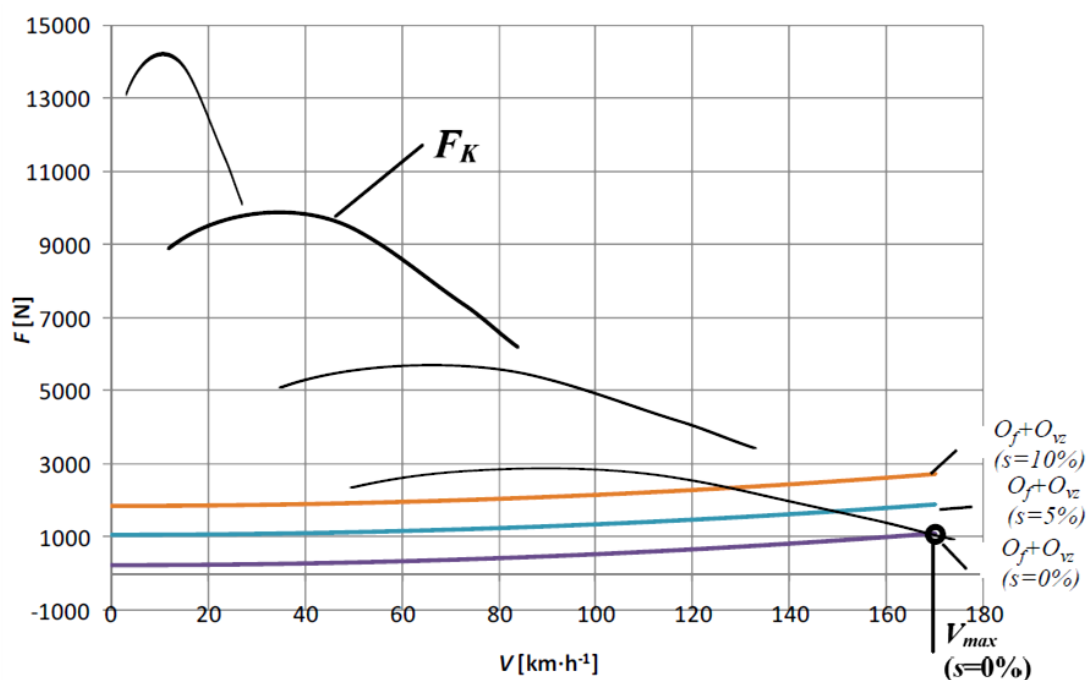
$$O_a = m_v \cdot a + \frac{M_{zK}}{r} = m_v \cdot a \cdot \left(1 + \frac{M_{zK}}{m_v \cdot r}\right) = m_v \cdot a \cdot \delta \text{ [N]} \quad (2.23)$$

Hodnota součinitele vlivu rotujících částí se u běžného osobního vozidla pohybuje v rozmezí 1,04 – 1,08.

2.6 Charakteristika hnací síly na kolech vozidla

Hnací síla, která je přiváděna na kola vozidla, je pro každý rychlostní stupeň jiná. Po zakreslení všech sil na jednotlivé rychlostní stupně a průběhů jízdních odporů vzniká graf, ze kterého lze snadno určit např. maximální rychlost vozidla, nebo také stoupavost na daný rychlostní stupeň. Pro sestavení tohoto grafu je nutné znát tyto parametry:

- průběh točivého momentu vozidla,
- převodové poměry jednotlivých převodových stupňů,
- hmotnost vozidla,
- poloměr kola vozidla,
- obsah čelní plochy vozidla,
- součinitel odporu vzduchu vozidla.



Obrázek č. 2.8 – Charakteristika hnací síly vozidla se čtyřstupňovou převodovkou [10]

Pokud známe výše zmíněné potřebné parametry vozidla, je možné tuto charakteristiku sestavit pro jakékoliv vozidlo.

3 Sestavení metodiky zkoušek

Protože neexistuje žádná výchozí metodika pro provádění zkoušek a vyhodnocování jejich výsledků, je potřeba si ji vytvořit. Jako nástroj k jejímu vytvoření posloužil návod k obsluze válcové zkušebny MAHA LPS 2000, na které bude prováděno experimentální měření vozidla. Tato válcová zkušební stanice funkcí a výkonu se pro výpočty statických a dynamických vlastností řídí podle norem DIN, ISO a podle směrnic EHS a ECE-R.

3.1 Válcová zkušebna MAHA LPS 2000

Stanice MAHA LPS 2000 s označením R100/1 umožňuje měření osobních automobilů a lehkých užitkových automobilů. V tomto provedení lze měřit výkon na kolech až do 260 kW při maximální zkušební rychlosti až 260 km.h⁻¹. Zátěžová simulace je realizována pomocí elektromagnetické brzdy. Válcová zkušební stanice MAHA LPS 2000 umožňuje měření výkonu jak pro vozidla se zážehovým, tak i pro vozidla se vznětovým spalovacím motorem. Také je možné testovat trakci při všech rychlostech a simulovat odpor jízdy [11].

Válcovou zkušebnu tvoří tyto základní prvky:

- komunikační pult s barevnou obrazovkou a počítačovou klávesnicí,
- dálkové ovládání (ovládá komunikační pult),
- sada válců,
- modul (box) rozhraní, přes který lze připojit měřící čidla a snímače,
- ventilátor,
- tiskárna.

Tato zkušebna se nachází v areálu dílen Střední školy dopravní v Ostravě – Vítkovicích. Místnost, ve které je zkušební stanice provozována, musí splňovat zákonná ustanovení pro pracoviště. Je nutno dbát na dostatečný přívod čerstvého vzduchu a odvodovou šachtu [11]. K tomuto účelu je zde ventilační systém pro přívod a odvod vzduchu s průtokem 3400 m³.h⁻¹. Také je zde vestavěno zařízení pro odsávání výfukových plynů s výkonem 3000 m³.h⁻¹. Válcová zkušební stanice MAHA LPS 2000 je na obrázku č. 3.1.



Obrázek č. 3.1 – Válcová zkušebna MAHA LPS 2000 [12]

3.1.1 Komunikační pult s barevnou obrazovkou

Tento pult umožňuje nastavení parametrů, které jsou nutné pro samotné měření – viz kapitola 3.3.2 Struktura programu. Komunikační pult (obrázek č. 3.2) je v podstatě počítač, do kterého vstupují signály ze snímačů, jež udávají hodnoty požadovaných veličin. Na barevné obrazovce jsou v průběhu měření zobrazovány průběžné hodnoty. Na konci měření lze zobrazit výsledné hodnoty, resp. graf, který je možné vytisknout na připojené tiskárně a následně zpracovat.



Obrázek č. 3.2 – Komunikační pult s barevnou obrazovkou

3.1.2 Dálkové ovládání

Funkce programu LPS 2000 lze navolit dálkovým ovládáním. Dálkové ovládání (obrázek č. 3.3) umožňuje volbu funkcí přímo z vozidla, což je pro některý typ zkoušky nezbytně nutné. Dálkovým ovládáním je možné ovládat např. příčný pneumatický práh i ventilátor. Komunikace s počítačem je zajištěna pomocí infračervených signálů vycházejících z dálkového ovládání a přijímačem, který je umístěn na přední straně komunikačního pultu pod klávesnicí.



Obrázek č. 3.3 – Dálkové ovládání

3.1.3 Sada válců

Sady válců pro zkušební stanici MAHA LPS 2000 mohou být k dispozici v různých vyhotoveních [11]:

- **R50** – určeno pro motocykly,
- **R100/1** – určeno pro osobní automobily a dodávky,
- **R100/2** – určeno pro osobní automobily, dodávky a nákladní automobily.

Zkušebna, na které bylo prováděno experimentální měření, je s označením válců R100/1. Jedná se tedy o válcovou zkušebnu určenou pro osobní automobily a dodávky, kde jsou válce brzděny jednou elektromagnetickou brzdou. Technické parametry válců s označením R100/1 jsou uvedeny v tabulce č. 3.1.

Tabulka č. 3.1 – Technické parametry sady válců R100/1

SADA VÁLCŮ	R 100/1	JEDNOTKA
Délka	3345	[mm]
Šířka	1100	[mm]
Výška	520	[mm]
Hmotnost včetně obalu	1400	[kg]
Zátěž os	2,5	[t]
Délka válců	750	[mm]
Stopa min.	800	[mm]
Stopa max.	2300	[mm]
Nejmenší měřitelné kolo	12"	
Průměr válců	318	[mm]
Odstup od válců	540	[mm]
Zdvíhací práh pneumatický min.	0,8	[MPa]
Vířivá brzda 260	260	[kW]
Napojení na síť	230	[V]
Pojistka setrvačná	16	[A]
Rychlost měření max.	260	[km.h-1]
Výkon kol max.	260	[kW]
Hnací síla max.	6	[kN]
Přesnost měření	±2%	



Obrázek č. 3.4 – Sada válců R100/1

3.1.4 Modul rozhraní

Do modulu rozhraní je možné připojit různé externí přístroje, které slouží pro získávání dat z motoru pro zkušební stanici. Standardně je v boxu rozhraní zabudován tlakoměr vzduchu a teplotní čidlo, které udává aktuální teplotu, resp. tlak, ve zkušebně. K modulu rozhraní jsou v našem případě připojeny následující přístroje:

- čidlo teploty nasávaného vzduchu (pomocí svorky se čidlo umístí před sání vozidla)

- čidlo teploty oleje (čidlo v podobě měrky hladiny oleje se zamění se skutečnou měrkou)
- měření otáček (ke zjištění aktuálních otáček motoru přes modul rozhraní slouží indukční kleště nebo vibrační snímač)

Indukční kleště – kleštěmi je snímán signál otáček na kabelu zapalování. Měly by být umístěny pokud možno nejblíže k zapalovací svíčke a pokud možno nejdále od nejbližšího kabelu zapalování. Kleště induktivně snímají signál vysokého napětí, který je veden z rozdělovače k libovolnému válci. Impulzy jsou z kleští předávány do měřicího boxu a tam převáděny na signál počtu otáček [11].

Vibrační snímač – je externí měřicí přístroj, který se používá v kombinaci s indukčními kleštěmi. Snímač je tvořen vibrační sondou a magnetem, kterým je možné jej přichytit vhodně na motor vozidla. Měřicí přístroj pak vyžaduje zadání informací o spalovacím motoru – počet válců a typ motoru (dvoudobý, čtyřdobý). Indukční kleště se následně připojí na izolovaný drát vycházející z přístroje, který převádí vibrační signál na napěťový. Měřicí přístroj nemá interní napájení, proto je nutné jej napájet externě z autobaterie [11].



Obrázek č. 3.5 – Modul rozhraní

3.1.5 Ventilátor

Ventilátor je určen ke chlazení spalovacího motoru při provádění zkušebního měření. Je spojen s komunikačním pultem, takže spuštění je možné provést jak přes klávesnici, tak i prostřednictvím dálkového ovládání. Umisťuje asi jeden metr před vozidlo. Jelikož je rám ventilátoru mobilní, tedy na kolečkách, je nutné jej před spuštěním zabrzdit.



Obrázek č. 3.6 – Ventilátor

3.1.6 Tiskárna

Jedná se o čtyřbarevnou jehličkovou tiskárnu CITIZEN SWIFT 200. Výrobce je již přednastavena, takže nejsou nutné žádné úpravy nastavení. Tiskárna umožňuje tisk na nekonečný papír formátu A4 s možností vytvoření kopií propisem na další papír. Je součástí komunikačního pultu, se kterým je také datově spojena.



Obrázek č. 3.7 – Čtyřbarevná jehličková tiskárna CITIZEN SWIFT 200 [12]

3.2 Základní podmínky měření

Při měření výkonu je zapotřebí dbát na to, aby byly všechny elektrické spotřebiče (např. klimatizace) vypnuty, protože tyto přístroje ovlivňují hodnoty výkonu. Vozidlo musí mít rovněž suché a správně nahuštěné pneumatiky, aby nedocházelo k prokluzu mezi kolem a válcem. Nutná je také deaktivace všech stabilizačních systémů vozidla.

3.3 Metodika měření

V této kapitole je sestavena metodika zkoušek. Popsán je proces ustavení a zabezpečení vozidla před měřením, dále je vysvětlen postup při nastavení programu LPS 2000 a nakonec je popsán průběh samotného experimentálního měření.

3.3.1 Ustavení vozidla a příprava před měřením

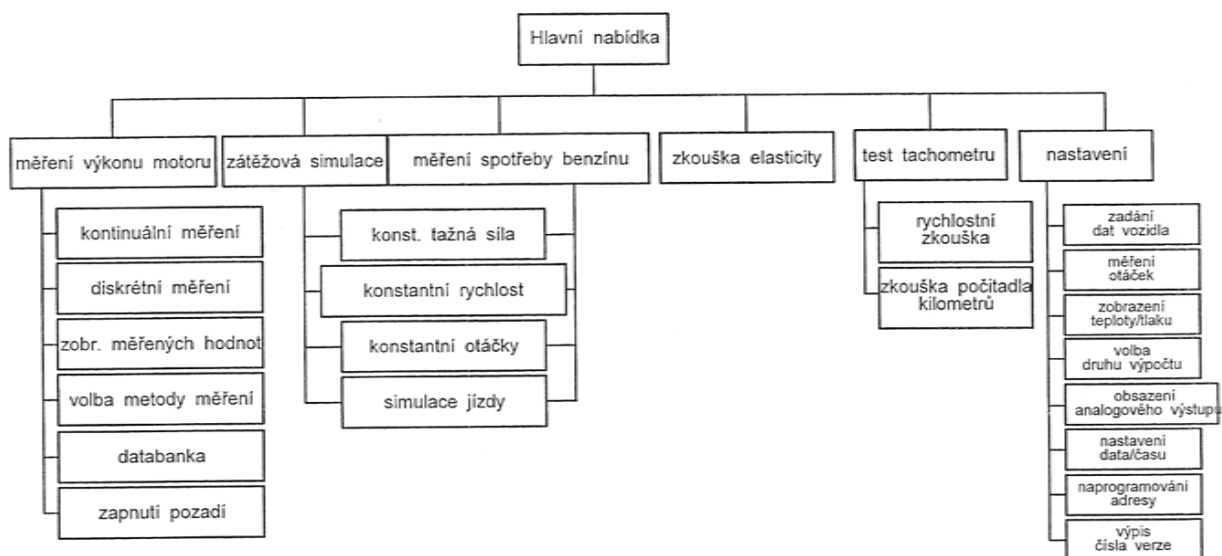
Vozidlo najede zadními koly na měřicí válce tak, aby byla podélná osa vozidla kolmá na osu válců. Klávesou <F6> na klávesnici komunikačního pultu je spuštěn zdvižný práh. Nyní se pomalou jízdou ověří směrová stabilita vozidla. Pokud je vozidlo nestabilní, je nutné opětovně najetí, v opačném případě se přikročí k zajištění vozidla proti vyjetí ze zkušebních válců. K tomuto opatření slouží upínací popruhy, které jsou provlečeny přes ocelové kotvy, které jsou umístěny v podlaze zkušebny, a tažné oko vozidla. Ukotvení musí být pevné, ale nesmí táhnout automobil dolů. Také se musí dbát na to, aby se konce upínacích popruhů nedostaly do blízkosti pneumatik a válců. Vozidlo je po celou dobu měření chlazeno ventilátorem, který je umístěn asi jeden metr před přední nárazník. Je spouštěn klávesou <F5>. Teplota nasávaného vzduchu je měřena čidlem, které je připevněno ke vzduchovému filtru automobilu. Teplota chladicí kapaliny a oleje je monitorována pomocí software MegaTune. Ten je spojen s řídicí jednotkou, do které vstupují signály z interních čidel automobilu. Ke konci výfuku je umístěno zařízení, které odvádí výfukové plyny ze zkušebny. Před samotným měřením musí mít vozidlo všechny provozní kapaliny ohřáté na provozní teplotu, aby nedošlo ke zkreslení výsledků a poruše motoru. Správné ustavení vozidla ve válcové zkušebně MAHA LPS 2000 je na obrázku č. 3.8.



Obrázek č. 3.8 – Správně ustavené a zajištěné vozidlo před měřením

3.3.2 Struktura programu LPS 2000

Ovládací program zkušební stanice výkonu je orientován na nabídky. Data a příkazy lze zadávat klávesnicí PC nebo prostřednictvím dálkového ovladače. Hlavní nabídka je rozčleněna do šesti podnabídek, které lze navolit kurzorovými klávesami a klávesou <Return> (klávesnice) resp. potvrzením <*> (dálkové ovládání). Stejný postup platí pro body podnabídky [11]. Struktura programu je na obrázku č. 3.9.



Obrázek č. 3.9 – Struktura programu zkušební stanice MAHA LPS 2000 [11]

Hlavní nabídka – měření výkonu motoru – kontinuální měření

Protože je potřeba změřit výkonovou charakteristiku v celém spektru otáček, je zvoleno kontinuální měření. Při tomto měření je zjišťován výkon, který je ovlivněn korekcemi podle norem DIN a ISO nebo podle směrnic EHS a ECE-R.

Hlavní nabídka – nastavení – zadání dat vozidla

V tomto bodě nabídky lze před začátkem měření vložit data o vozidle. Z podnabídky vybereme: zážehový motor, čtyřtákní, mechanická převodovka, jednoduché zapalování.

Hlavní nabídka – nastavení – měření otáček

Otáčky motoru lze zjistit několika různými způsoby: pomocí indukčních kleští, světelné závory, ukazatele sevření, externího měřicího přístroje (vibrační snímač), svorky zapalovací cívky, zkušební jízdy, ukazatele $H\dot{U}$ a svorky W . Protože nebylo možné změřit otáčky indukčními kleštěmi a ani pomocí vibračního snímače, byla zvolena varianta – zkušební jízda.

Zkušební jízda nabízí u vozidel s mechanickou převodovkou možnost vytvoření spojení otáčkoměru vozidla s rychlostí jízdy. Na základě takto zjištěného vztahu lze při následujících měření zobrazit také hodnotu otáček v diagramu. Hodnota otáček pro zkušební jízdu je zadána prostřednictvím klávesnice (součást komunikačního pultu) a následně uložena. Požadovaná hodnota otáček musí být zvolena dostatečně vysoká, aby jí bylo možné dosáhnout při předposledním rychlostním stupni. V našem případě tedy 3000 min^{-1} . Po dobu měření výkonu pak software LPS 2000 přepočte momentální otáčky válců na otáčky motoru. Vypočtené otáčky jsou pak shodné jen na předposlední (měřicí) rychlostní stupeň.

Hlavní nabídka – nastavení – volba druhu výpočtu

Válcová zkušebna MAHA LPS 2000 nabízí pro výpočet výkonu tyto korekce: podle norem DIN 70020, ISO 1585 a podle směrnic 80/1269/EHS a ECE-R 85.

Byla zvolena korekce podle normy DIN 70020. Tuto část normy vydal v roce 1986 Německý ústav pro průmyslovou normalizaci (Deutsches Institut für Normung). Norma nebere potaz změny vlhkosti vzduchu, obsahuje referenční hodnoty a vzorec pro výpočet korekce.

Výpočet korekce dle normy DIN 70020:

$$\alpha = \left(\frac{p}{p_0}\right) = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{0,5} [-] \quad (3.1)$$

kde:

α korekční součinitel [-]

p atmosférický tlak [kPa]

p_0 referenční tlak, $p_0 = 101,325$ [kPa]

T_0 referenční teplota, $T_0 = 293$ [K]

T absolutní hodnota teploty nasávaného vzduchu [K]

3.3.3 Vlastní měření

Vozidlo je uvedeno citlivě, ale kontinuálně do chodu až na předposlední rychlostní stupeň (IV°). Poté je akcelerační pedál sešlápnut na maximum. Po celou dobu měření je zakázáno používat brzdový pedál či parkovací brzdu. Je zapotřebí dbát na to, aby během řazení nebyla překročena rychlost 50 km.h^{-1} , protože by měření započalo ještě před dosažením zkušebního rychlostního stupně. Tato rychlost je limitní a po jejím překročení se automaticky aktivuje elektromagnetická brzda, která klade odpor při roztáčení válců. Po dosažení maximálních otáček na měřicím rychlostním stupni je nutné sešlápnout spojkový pedál, ubrat plyn a vyřadit. Spojkový pedál musí být sešlápnut po celou dobu dojezdu vozidla, aby zkušebna mohla změřit ztrátový výkon. Výkon motoru je pak dán součtem výkonu na kolech a ztrátového výkonu. Po měření se na barevné obrazovce komunikačního pultu zobrazí graf průběhu výkonu a točivého momentu motoru v závislosti na otáčkách – viz obrázek č. 3.10, kde:

- ----- znázorňuje průběh točivého momentu motoru
- ----- znázorňuje průběh výkonu motoru korigovaný podle zvolené normy
- ----- znázorňuje průběh výkonu na kolech
- ----- znázorňuje průběh ztrátového výkonu



Obrázek č. 3.10 – Graf průběhu výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách

Tento graf po vytištění tvoří spolu s údaji o výkonu vozidla protokol o měření, ve kterém jsou uvedeny tyto hodnoty:

- | | | |
|---------------------------|---------------|------------------------|
| • korigovaný výkon | P-norm | [kW, PS], |
| • výkon motoru | P-mot | [kW, PS], |
| • výkon na kole | P-kol | [kW, PS], |
| • ztrátový výkon | P-ztráty | [kW, PS], |
| • točivý moment | M | [Nm], |
| • maximální výkon | při rychlosti | [km.h ⁻¹], |
| | při otáčkách | [min ⁻¹], |
| • maximální točivý moment | při rychlosti | [km.h ⁻¹], |
| | při otáčkách | [min ⁻¹], |
| • maximální rychlost | | [km.h ⁻¹], |
| • maximální otáčky | | [min ⁻¹], |
| • tlak vzduchu | | [mbar], |
| • teplota vzduchu | | [°C]. |

Ke každému měření byl vyhotoven tento protokol (včetně jedné kopie), ze kterého byly následně statisticky zpracovány a vyhodnoceny výsledky jednotlivých měření.

4 Statistické nástroje pro vyhodnocení

Výstupy měření, tedy záznamy z protokolů, je zapotřebí vhodně zpracovat a zaznamenat. Data jsou statisticky zpracována a zároveň jsou v nich zahrnuty chyby měření. Tyto chyby mohou vyvolávat přístroje, které jsou použity při měření, ale také samotná obsluha přístrojů. Výsledné hodnoty pak určují oblast, ve které se vyskytují skutečná naměřená data s určitou pravděpodobností. Cílem je vyloučit systematické a hrubé chyby.

Součástí nástrojů pro vyhodnocení dat je také grafické i tabelární zpracování. Grafy a tabulky přehledně znázorňují naměřené hodnoty a můžeme z nich odečíst například horní a dolní mezní interval jak točivého momentu, tak výkonu motoru.

4.1 Nejistoty měření

Nejistota měření je definována jako parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje míru rozptýlení hodnot, jež by mohl být důvodně prisuzovány měrné veličině [13]. Jsou zde popsány tři standardní typy nejistot.

4.1.1 Standardní nejistota typu A

Tato nejistota je způsobena náhodnými vlivy, které nám nejsou známy. Hodnota nejistoty typu A se zmenšuje se zvětšujícím se počtem opakování, takže se stanovuje z opakovaných měření za stejných podmínek.

Abychom vypočetli standardní nejistoty typu A, musí se nejprve stanovit dílčí hodnoty aritmetického průměru pro výkon motoru, otáčky při maximálním výkonu motoru, točivý moment motoru a otáčky při maximálním točivém momentu motoru.

Výpočet aritmetického průměru výkonu motoru:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \text{ [kW]} \quad (4.1)$$

kde:

\bar{P} aritmetický průměr výkonu motoru [kW]

P_i výkon motoru naměřený při i-tém měření [kW]

n počet měření [-]

Výpočet aritmetického průměru otáček při maximálním výkonu motoru:

$$\overline{n_p} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{pi}}{n} [\text{min}^{-1}] \quad (4.2)$$

kde:

$\overline{n_p}$ aritmetický průměr otáček při maximálním výkonu motoru [min^{-1}]

n_{pi} otáčky motoru naměřené při maximálním výkonu motoru při i-tém měření [min^{-1}]

n počet měření [-]

Výpočet aritmetického průměru točivého momentu motoru:

$$\overline{M} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} [\text{Nm}] \quad (4.3)$$

kde:

\overline{M} aritmetický průměr točivého momentu motoru [Nm]

M_i točivý moment motoru naměřený při i-tém měření [Nm]

n počet měření [-]

Výpočet aritmetického průměru otáček při maximálním točivém momentu motoru:

$$\overline{n_M} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{Mi}}{n} [\text{min}^{-1}] \quad (4.4)$$

kde:

$\overline{n_M}$ aritmetický průměr otáček při maximálním točivém momentu motoru [min^{-1}]

n_{Mi} otáčky motoru naměřené při maximálním točivém momentu motoru při i-tém měření [min^{-1}]

n počet měření [-]

Výpočet standardní nejistoty typu A:**Pro výkon motoru**

$$u_A(P) = \sigma(\overline{P}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \overline{P})^2}{n-1}} [\text{kW}] \quad (4.5)$$

kde:

$u_A(P)$ standardní nejistota typu A pro výkon motoru [kW]

$\sigma(\bar{P})$ rozptyl aritmetického průměru pro výkon motoru [kW]

n počet měření [-]

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru

$$u_A(n_P) = \sigma(\bar{n}_P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{Pi} - \bar{n}_P)^2}{n-1}} [\text{min}^{-1}] \quad (4.6)$$

kde:

$u_A(n_P)$ standardní nejistota typu A pro otáčky při maximálním výkonu motoru [min^{-1}]

$\sigma(\bar{n}_P)$ rozptyl aritmetického průměru pro otáčky při maximálním výkonu motoru [min^{-1}]

Pro točivý moment motoru

$$u_A(M) = \sigma(\bar{M}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}} [\text{Nm}] \quad (4.7)$$

kde:

$u_A(M)$ standardní nejistota typu A pro točivý moment motoru [Nm]

$\sigma(\bar{M})$ rozptyl aritmetického průměru pro točivý moment motoru [Nm]

Pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru

$$u_A(n_M) = \sigma(\bar{n}_M) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{Mi} - \bar{n}_M)^2}{n-1}} [\text{min}^{-1}] \quad (4.8)$$

kde:

$u_A(n_M)$ standardní nejistota typu A pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru [min^{-1}]

$\sigma(\bar{n}_M)$ rozptyl aritmetického průměru pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru [min^{-1}]

4.1.2 Standardní nejistota typu B

Tato nejistota vzniká ze známých a odhadnutelných příčin pocházející z různých zdrojů. Hodnota nejistoty typu B nezávisí na počtu opakovaných měření. V tomto případě se jedná o nejistotu, která je způsobena nepřesností měřicího přístroje a přenáší se tak přímo do výsledků měření.

Pro výpočet standardní nejistoty typu B, musí být tedy známa nepřesnost měřicího přístroje, kterou nalezneme v dokumentaci (návodu k obsluze) [11] a která je součástí válcové zkušební stanice. Třída přesnosti měření je udávána $\pm 2 \%$, $TP = 4$. Dále je zapotřebí znát nejvyšší hodnotu přesnosti měřicího rozsahu. Pro tento typ zkušebny $M = 260 \text{ kW}$ pro výkon motoru a $M = 9990 \text{ min}^{-1}$ pro otáčky motoru.

Výpočet standardní nejistoty typu B:

Pro výkon motoru

$$u_B(P) = \frac{TP}{100} \cdot M \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{kW}] \quad (4.9)$$

kde:

$u_B(P)$ standardní nejistota typu B pro výkon motoru [kW]

TP třída přesnosti měření [-]

M nejvyšší hodnota přesnosti měřicího rozsahu pro výkon [kW]

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru

$$u_B(n_P) = \frac{TP}{100} \cdot M \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{min}^{-1}] \quad (4.10)$$

kde:

$u_B(n_P)$ standardní nejistota typu B pro otáčky při maximálním výkonu motoru [min^{-1}]

TP třída přesnosti měření [-]

M nejvyšší hodnota přesnosti měřicího rozsahu pro otáčky [min^{-1}]

Pro točivý moment motoru

Pro tento typ zkušebny je brzdňý moment vytvářen díky vířivým proudům a je možno jej vyjádřit tímto vztahem:

$$P = U \cdot I \text{ [Nm]} \quad (4.11)$$

Výsledného vztahu pro výpočet standardní nejistoty typu B pro točivý moment motoru pak můžeme dosáhnout tak, že za hodnotu P bude dosazena standardní nejistota typu B pro výkon motoru. Dále je možno předpokládat, že hodnota U je rovna I, která pak bude brána jako zmíněná nejistota typu B pro točivý moment motoru.

$$u_B(M) = \sqrt{u_B(P)} \text{ [Nm]} \quad (4.12)$$

kde:

$u_B(M)$ standardní nejistota typu B pro točivý moment motoru [Nm]

Pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru

$$u_B(n_M) = \frac{TP}{100} \cdot M \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (4.13)$$

kde:

$u_B(n_M)$standardní nejistota typu B pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru [min^{-1}]

4.1.3 Kombinovaná standardní nejistota

Kombinovanou standardní nejistotu lze vyjádřit sumací kvadrátů standardních nejistot typu A a B. Tato hodnota vyjadřuje, v jakém rozptylu od aritmetického průměru leží naměřená data.

Pro výkon motoru

$$u_C(P) = \sqrt{u_A^2(P) + u_B^2(P)} \text{ [kW]} \quad (4.14)$$

kde:

$u_C(P)$ kombinovaná standardní nejistota pro výkon motoru [kW]

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru

$$u_C(n_P) = \sqrt{u_A^2(n_P) + u_B^2(n_P)} [\text{min}^{-1}] \quad (4.15)$$

kde:

$u_C(n_P)$ kombinovaná standardní nejistota pro otáčky při maximálním výkonu motoru
[min^{-1}]

Pro točivý moment motoru

$$u_C(M) = \sqrt{u_A^2(M) + u_B^2(M)} [\text{Nm}] \quad (4.16)$$

kde:

$u_C(M)$ kombinovaná standardní nejistota pro točivý moment motoru [Nm]

Pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru

$$u_C(n_M) = \sqrt{u_A^2(n_M) + u_B^2(n_M)} [\text{min}^{-1}] \quad (4.17)$$

kde:

$u_C(n_M)$ kombinovaná standardní nejistota pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru [min^{-1}]

Výpočet horní a dolní meze intervalu hodnot se pro výkon motoru stanoví podle následujících vzorců. Analogicky se pak tyto vztahy použijí pro výpočet mezí pro otáčky motoru při maximálním výkonu, pro točivý moment i pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru.

$$DMI = \bar{P} - \frac{u_C(P)}{2} [\text{kW}] \quad (4.18)$$

$$HMI = \bar{P} + \frac{u_C(P)}{2} [\text{kW}] \quad (4.19)$$

kde:

DMI dolní mez intervalu výkonu motoru [kW]

HMI horní mez intervalu výkonu motoru [kW]

4.2 Grafické a tabelární zpracování naměřených výsledků

Pro snazší orientaci a celkový přehled v textu jsou naměřená data vhodně zpracována do tabulek a grafů. Pro každé měření je vytvořen graf maximálního výkonu, graf maximálního točivého momentu, průběh výkonu a průběh točivého momentu motoru. Dále jsou graficky zpracovány hodnoty plnicího tlaku a hodnoty DMI a HMI pro průběh výkonu i pro průběh točivého momentu motoru. Výsledkem každého měření je pak graf vnější charakteristiky spalovacího motoru.

Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru

Z tabelárně zaznamenaných hodnot maximálních výkonů a otáček, při kterých byl tento výkon naměřen, se stanoví všechny standardní typy nejistot a vypočtou se mezní intervaly. Graf pak zachycuje oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru v závislosti na otáčkách. Do tohoto grafu je vepsán obdélník, který reprezentuje rozptyl hodnot a jehož hranice jsou tvořeny horním a dolním mezním intervalem pro hodnotu maximálního výkonu a pro otáčky, při kterých byl tento výkon naměřen. Osa x reprezentuje otáčky motoru v min^{-1} a osa y výkon motoru v kW.

Průběh výkonu motoru

Jedná se o spojnicový graf, který znázorňuje naměřený výkon v závislosti na otáčkách motoru. Pro sestrojení křivky průběhu výkonu motoru je nutné nejprve tabelárně zaznamenat naměřené hodnoty pro všechna měření a poté stanovit jejich průměr při určitých otáčkách. Následně se vypočítají všechny tři typy nejistot, které vedou k určení hodnot DMI a HMI a pomocí software se odečtou hodnoty plnicích tlaků k určitým otáčkám motoru. Výsledný graf se pak skládá ze čtyř křivek. Křivka dolního mezního intervalu, horního mezního intervalu, křivka průměrného výkonu a křivka plnicího tlaku. Osa x reprezentuje otáčky motoru v min^{-1} , osa y výkon motoru v kW a také plnicí tlak v kPa.

Závislost plnicího tlaku na výkon motoru

V tomto případě jde o sloupcový graf, který zachycuje růst výkonu a růst plnicího tlaku v závislosti na otáčkách motoru. V jedné skupině jsou znázorněny hodnoty průměrného výkonu a hodnoty plnicího tlaku. Osa x reprezentuje otáčky motoru v min^{-1} , osa y výkon motoru v kW a plnicí tlak v kPa.

Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru.

Stejně jako v případě jsou z tabelárně zaznamenaných hodnot maximálních točivých momentů a otáček, při kterých byl tento moment naměřen, stanoveny hodnoty DMI a HMI. Graf pak zachycuje oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru v závislosti na otáčkách. Také je zde vepsán obdélník, který reprezentuje rozptyl hodnot získaných statistickým zpracováním, ale jeho hranice jsou tvořeny horním a dolním mezním intervalem pro hodnotu maximálního točivého momentu a pro otáčky, při kterých byl tento moment naměřen. V tomto případě reprezentuje osa x otáčky motoru v min^{-1} a osa y točivý moment motoru v Nm.

Průběh točivého momentu motoru

Tento spojnicový graf znázorňuje naměřený točivý moment v závislosti na otáčkách motoru. Obdobně jako u průběhu výkonu je nutné tabelárně zaznamenat naměřené hodnoty pro všechna měření a poté stanovit jejich průměr při určitých otáčkách. Poté se vypočítají všechny tři typy nejistot, které vedou k určení hodnot DMI a HMI. Hodnoty plnicího tlaku jsou stejné jako v předchozím případě. Výsledný graf se tedy také skládá ze čtyř křivek. Křivka dolního mezního intervalu, horního mezního intervalu, křivka průměrného točivého momentu a křivka plnicího tlaku. Osa x reprezentuje otáčky motoru v min^{-1} , osa y točivý moment motoru v Nm a plnicí tlak v kPa.

Závislost plnicího tlaku na točivý moment motoru

Opět se jedná o sloupcový graf, který ovšem zachycuje průběh točivého momentu a růst plnicího tlaku v závislosti na otáčkách motoru. V jedné skupině jsou znázorněny hodnoty průměrného točivého momentu a hodnoty plnicího tlaku. Osa x reprezentuje otáčky motoru v min^{-1} , osa y točivý moment motoru v Nm a zároveň plnicí tlak v kPa..

Vnější charakteristika spalovacího motoru

Výsledkem každého měření je tento spojnicovo-sloupcový graf, který je sestaven z průměrných hodnot. Vyjadřuje závislost výkonu motoru, točivého momentu a plnicího tlaku na otáčkách motoru. V tomto případě osa x reprezentuje otáčky motoru v min^{-1} a osa y výkon motoru v kW a zároveň točivý moment motoru v Nm.

5 Experimentální měření a vyhodnocení

Cílem této práce je prostřednictvím měření stanovit výkonové charakteristiky automobilu. Tyto charakteristiky bude ovlivňovat plnicí tlak, který se bude postupně navyšovat.

Bylo provedeno deset měření, což je dostatek pro relevantní výpočet nejistoty typu A, pro každou hodnotu maximálního plnicího tlaku. Po každém měření byly vytištěny jednotlivé protokoly, které jsou součástí přílohy.

Grafy z protokolů byly pomocí digitalizace křivky přeneseny do počítačového prostředí. Zde byly odečteny hodnoty výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru a tabelárně zaznamenány. Hodnoty plnicího tlaku byly odečteny z programu MegaTune, který monitoruje činnost řídící jednotky, a rovněž zaznamenány. Regulace plnicího tlaku byla prováděna mechanickým způsobem – viz kapitola 1.2.2 Obtokový ventil. Pomocí softwarového programu AKCEL pak byla po dosazení vstupních parametrů vypočtena hodnota maximální rychlosti automobilu, hodnoty maximálních rychlostí dosažených na jednotlivé rychlostní stupně i časy zrychlení.

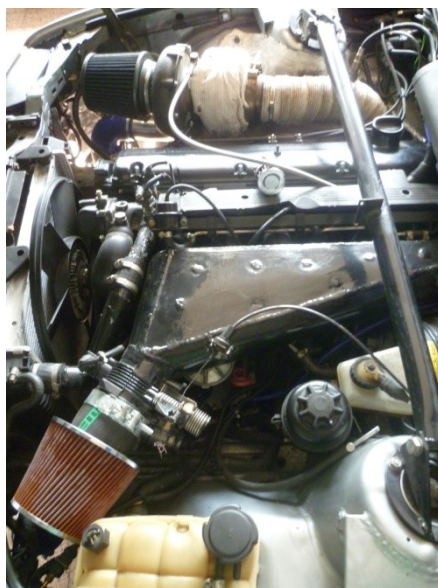
Měření bylo prováděno na válcové zkušební stanici MAHA LPS 2000, která se nachází v areálu dílen Střední školy dopravní v Ostravě – Vítkovicích.



Obrázek č. 5.1 – Experimentální měření

5.1 Plnicí tlak – atmosférický – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Aby bylo možné změřit výkon motoru při atmosférickém plnicím tlaku, bylo nutné turbodmychadlo vyřadit z provozu. Řešením bylo odpojení hadice v sacím potrubí. Dmychadlo sice pracovat nepřestalo, ale stlačený vzduch byl odváděn zpět do atmosféry. Z preventivních důvodů byl pak na sání motoru umístěn přímý vzduchový filtr, který je možné shlédnout na obrázku č. 5.2.



Obrázek č. 5.2 – Měření výkonu atmosférického motoru

5.1.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru

V tabulce č. 5.1 jsou uvedeny naměřené hodnoty maximálního výkonu motoru, plnicího tlaku při maximálním výkonu motoru a otáček, při kterých bylo dosaženo těchto hodnot. Protokol jednoho z měření je v příloze B.

Po statistickém zpracování, viz kapitola 4 Statistické nástroje pro vyhodnocení, byly vypočteny hodnoty DMI (dolního mezního intervalu) a HMI (horního mezního intervalu) pro maximální výkon a pro otáčky při maximálním výkonu motoru.

Tabulka č. 5.1 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{max} = 97 \text{ kPa}$

Maximální výkon motoru			
Počet měření	$P_{max} [\text{kW}]$	$n_{Pmax} [\text{min}^{-1}]$	$p_{Pmax} [\text{kPa}]$
1	170,0	5840	96
2	168,0	5890	95
3	167,5	5790	95
4	169,5	5920	96
5	171,0	5930	95
6	171,5	5940	95
7	172,0	5760	96
8	170,0	5990	95
9	171,5	5820	95
10	169,5	5790	96
Ø	170	5867	95

VZOROVÝ VÝPOČET

Výpočet aritmetického průměru výkonu motoru (viz 4.1)

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} = \frac{170+168+167,5+169,5+171+171,5+172+170+171,5+169,5}{10} = 170 \text{ kW}$$

Výpočet aritmetického průměru otáček při maximálním výkonu motoru (viz 4.2)

$$\bar{n}_P = \frac{\sum_{i=1}^n n_{Pi}}{n} = \frac{5840+5890+5790+5920+5930+5940+5760+5990+5820+5790}{10} = 5867 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet standardní nejistoty typu A:

Pro výkon motoru (viz 4.5)

$$u_A(P) = \sigma(\bar{P}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0+4,2+6,5+0,3+0,9+2,1+3,8+0+2,1+0,3}{10-1}} = 1,5 \text{ kW}$$

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru (viz 4.6)

$$u_A(n_P) = \sigma(\bar{n}_P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{Pi} - \bar{n}_P)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{729+529+5929+2809+3969+5329+11449+15129+2209+5929}{10-1}} = 77,47 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet standardní nejistoty typu B:**Pro výkon motoru (viz 4.9)**

$$u_B(P) = \frac{TP}{100} \cdot M \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{4}{100} \cdot 260 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 6,0 \text{ kW}$$

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru (viz 4.10)

$$u_B(n_P) = \frac{TP}{100} \cdot M \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{4}{100} \cdot 9990 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 230,7 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet kombinované nejistoty:**Pro výkon motoru (viz 4.14)**

$$u_C(P) = \sqrt{u_A^2(P) + u_B^2(P)} = \sqrt{1,5^2 + 6^2} = 6,18 \text{ kW}$$

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru (viz 4.15)

$$u_C(n_P) = \sqrt{u_A^2(n_P) + u_B^2(n_P)} = \sqrt{77,47^2 + 230,7^2} = 243,36 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet DMI a HMI:**Pro výkon motoru (viz 4.18, 4.19)**

$$DMI = \bar{P} - \frac{u_C(P)}{2} = 170 - \frac{6,18}{2} = 166,91 \text{ kW}$$

$$HMI = \bar{P} + \frac{u_C(P)}{2} = 170 + \frac{6,18}{2} = 173,09 \text{ kW}$$

Pro otáčky při maximálním výkonu motoru (viz 4.18, 4.19)

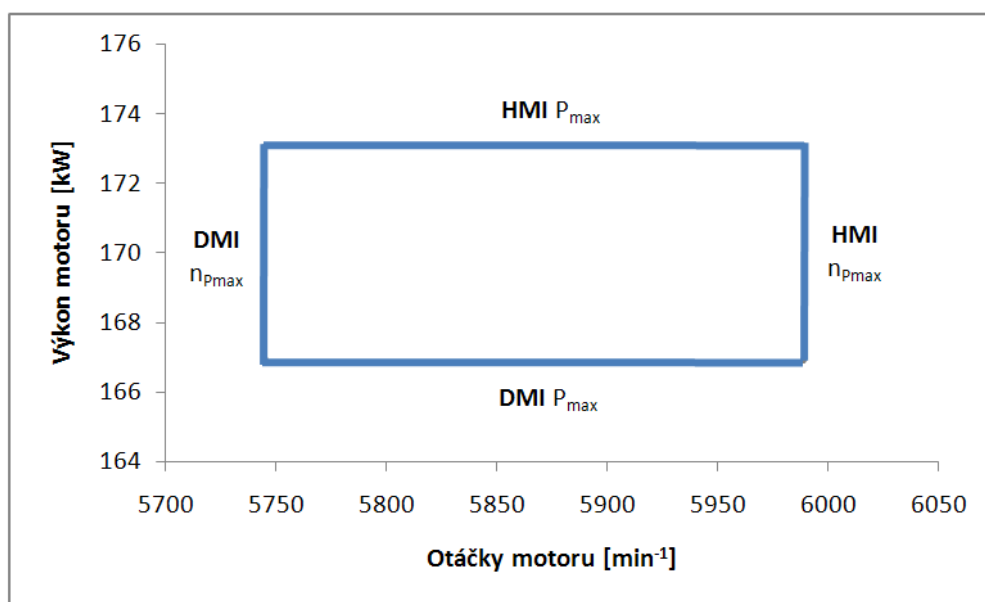
$$DMI = \bar{n}_P - \frac{u_C(n_P)}{2} = 5867 - \frac{243,36}{2} = 5745,32 \text{ min}^{-1}$$

$$HMI = \bar{n}_P + \frac{u_C(n_P)}{2} = 5867 + \frac{243,36}{2} = 5988,68 \text{ min}^{-1}$$

Tabulka č. 5.2 – Hodnoty DMI a HMI pro maximální výkon motoru ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální výkon motoru					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
P_{\max} [kW]	1,50	6,00	6,18	166,91	173,09
$n_{P_{\max}}$ [min ⁻¹]	77,47	230,70	243,36	5745,32	5988,68

Hodnoty DMI a HMI maximálního výkonu a otáček, při kterých byl tento výkon dosažen, určují rozmezí, ve kterém leží naměřené hodnoty po statistickém zpracování a po přičtení statistických chyb. Tuto oblast vymezuje modrý obdélník na obrázku č. 5.3.

Obrázek č. 5.3 – Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

5.1.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru

V tabulce č. 5.3 jsou zaznamenány hodnoty výkonu motoru. Tyto hodnoty byly odečteny z protokolu o měření a následně opět statisticky zpracovány – viz tabulka č. 5.4. Odečítání dat bylo prováděno pomocí funkce digitalizace křivky. Plnicí tlak byl zjištěn pomocí software MegaTune.

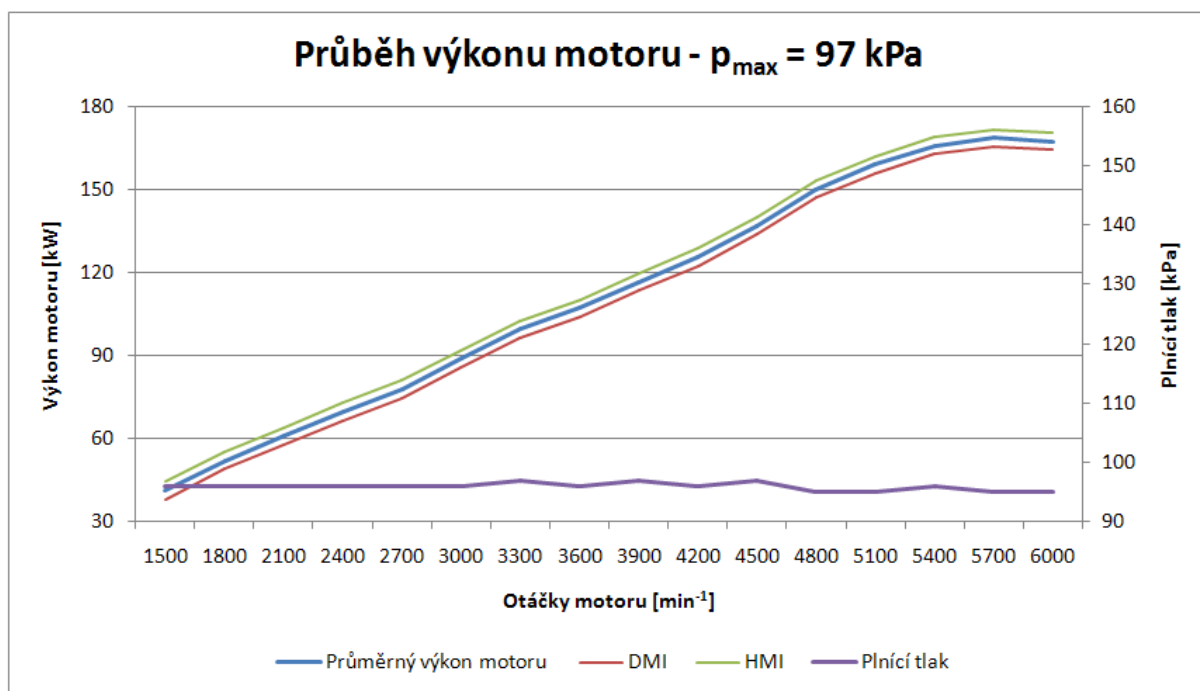
Tabulka č. 5.3 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{max} = 97 \text{ kPa}$

Otáčky motoru [min-1]	Naměřený výkon [kW]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	42	40	38	42	41	43	43	41	42	40	41,2	96
1800	51	50	49	53	54	54	54	52	53	51	52,1	96
2100	60	59	58	62	63	61	63	61	62	60	60,9	96
2400	71	68	67	67	72	70	72	70	71	69	69,7	96
2700	79	76	75	76	80	78	80	78	79	77	77,8	96
3000	90	85	86	89	91	89	91	89	90	88	88,8	96
3300	101	96	97	98	102	100	102	100	101	99	99,6	97
3600	107	104	105	106	108	108	110	108	109	107	107,2	96
3900	118	114	114	117	117	117	119	117	118	116	116,7	97
4200	125	125	123	124	126	128	128	126	127	125	125,7	96
4500	137	135	134	137	139	139	139	137	138	136	137,1	97
4800	151	148	147	150	152	152	152	150	151	149	150,2	95
5100	159	158	156	159	161	161	161	159	160	158	159,2	95
5400	167	164	163	165	167	168	168	166	167	165	166,0	96
5700	169	166	166	168	170	170	171	169	170	168	168,7	95
6000	168	167	165	167	169	169	170	167	169	165	167,6	95

Tabulka č. 5.4 – Stanovení mezních hodnot pro průběh výkonu ($p_{max} = 97 \text{ kPa}$)

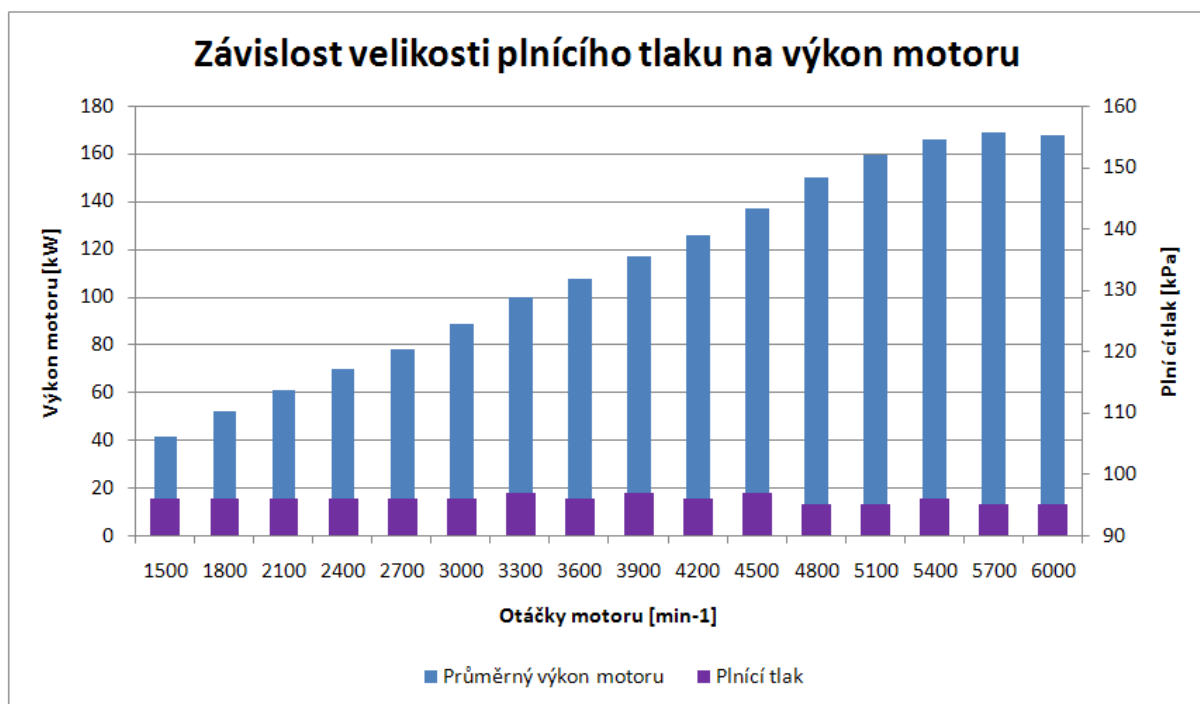
Stanovení hodnot DMI a HMI pro výkon motoru [kW]					
Otáčky motoru [min-1]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,55	6,00	6,20	38,10	44,30
1800	1,79	6,00	6,26	48,97	55,23
2100	1,66	6,00	6,23	57,79	64,01
2400	1,89	6,00	6,29	66,55	72,85
2700	1,75	6,00	6,25	74,67	80,93
3000	1,99	6,00	6,32	85,64	91,96
3300	2,07	6,00	6,35	96,43	102,77
3600	1,81	6,00	6,27	104,07	110,33
3900	1,64	6,00	6,22	113,59	119,81
4200	1,64	6,00	6,22	122,59	128,81
4500	1,73	6,00	6,24	133,98	140,22
4800	1,75	6,00	6,25	147,07	153,33
5100	1,62	6,00	6,21	156,09	162,31
5400	1,70	6,00	6,24	162,88	169,12
5700	1,70	6,00	6,24	165,58	171,82
6000	1,71	6,00	6,24	164,48	170,72

Graf na obrázku č. 5.4 znázorňuje průběh výkonu, který byl sestaven s dílčích průměrných hodnot v závislosti na otáčkách motoru. Dále jsou zde zakresleny křivky dolního a horního mezního intervalu. Poslední křivka znázorňuje průběh plnicího tlaku, který je v tomto případě atmosférický, a proto vykazuje téměř konstantní hodnoty.



Obrázek č. 5.4 – Průběh výkonu motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Přímá závislost velikosti plnicího tlaku na výkon spalovacího motoru je pro přehlednost uvedena ve sloupcovém grafu na obrázku č. 5.5.



Obrázek č. 5.5 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

5.1.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment motoru

V tabulce č. 5.5 jsou uvedeny naměřené hodnoty maximálního točivého momentu motoru, plnicího tlaku při maximálním točivém momentu a otáček, při kterých bylo dosaženo těchto hodnot.

Opět byly vypočteny hodnoty dolního mezního intervalu a horního mezního intervalu pro maximální točivý moment a pro otáčky při maximálním točivém momentu motoru.

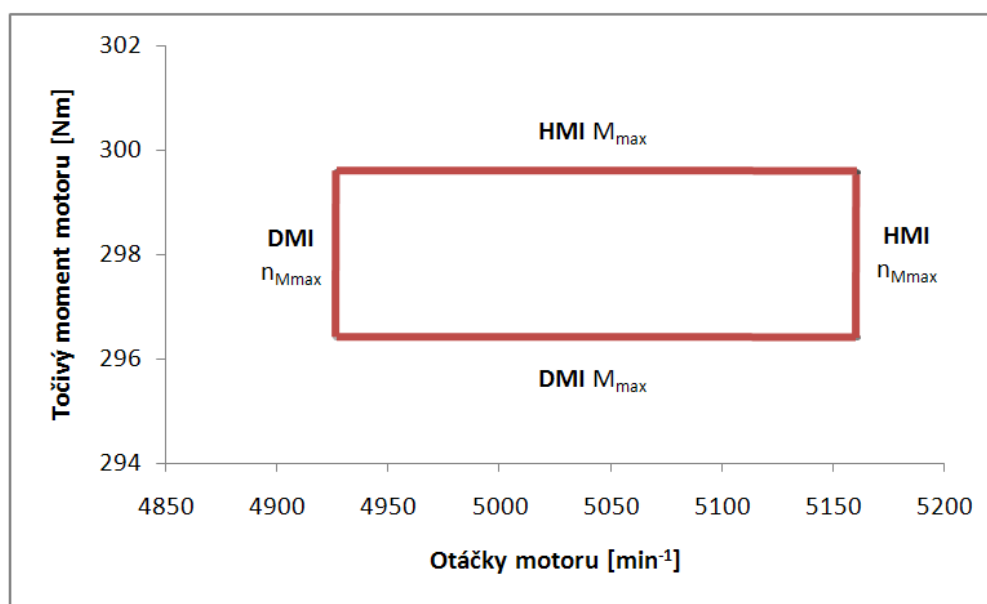
Tabulka č. 5.5 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{max} = 97 \text{ kPa}$

Maximální točivý moment motoru			
Počet měření	$M_{max} [\text{Nm}]$	$n_{Mmax} [\text{min}^{-1}]$	$p_{Mmax} [\text{kPa}]$
1	297	5080	96
2	296	5080	96
3	296	5040	96
4	301	5100	95
5	295	4950	95
6	298	5040	96
7	298	5020	96
8	301	5080	95
9	298	5020	95
10	300	5030	96
Ø	298	5044	96

Tabulka č. 5.6 – Hodnoty DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru ($p_{max} = 97 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru					
	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
$M_{max} [\text{Nm}]$	1,99	2,45	3,15	296,42	299,58
$n_{Mmax} [\text{min}^{-1}]$	43,77	230,70	234,81	4926,59	5161,41

Hodnoty DMI a HMI maximálního točivého momentu a otáček, při kterých byl tento točivý moment dosažen, určují rozmezí, ve kterém leží naměřené hodnoty po statistickém zpracování a po přičtení statistických chyb. Tuto oblast vymezuje červený obdélník na obrázku č. 5.6.



Obrázek č. 5.6 – Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru – $p_{max} = 97 \text{ kPa}$

5.1.4 Naměřené hodnoty – točivý moment motoru

V tabulce č. 5.7 jsou zaznamenány hodnoty točivého momentu motoru. Tyto hodnoty byly také odečteny z protokolu o měření a následně opět statisticky zpracovány – viz tabulka č. 5.8.

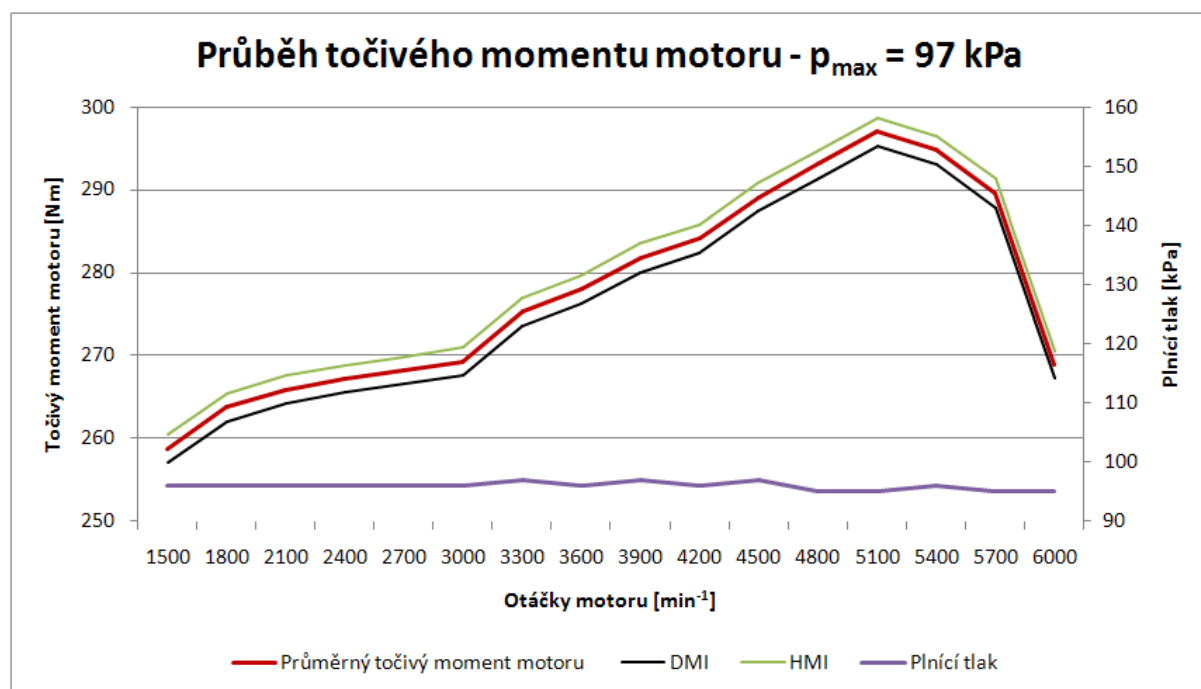
Tabulka č. 5.7 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{max} = 97 \text{ kPa}$

Otáčky motoru [min-1]	Naměřený točivý moment [Nm]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	257	256	257	263	256	258	260	262	258	261	259	96
1800	262	263	262	268	261	263	263	267	263	266	264	96
2100	264	265	264	270	263	266	265	269	265	268	266	96
2400	266	266	265	271	264	267	268	270	266	269	267	96
2700	267	267	266	272	265	268	269	271	267	270	268	96
3000	269	268	267	273	266	269	270	272	268	271	269	96
3300	275	274	273	279	272	275	276	278	274	277	275	97
3600	277	275	276	282	275	278	279	281	277	280	278	96
3900	280	280	280	286	279	282	281	285	281	284	282	97
4200	282	283	282	288	281	284	285	287	283	286	284	96
4500	287	288	287	293	286	289	290	292	288	291	289	97
4800	291	292	291	297	290	293	294	296	292	295	293	95
5100	296	295	295	301	294	297	297	300	296	299	297	95
5400	294	292	293	299	292	294	295	298	294	297	295	96
5700	288	286	288	294	287	289	290	293	289	292	290	95
6000	267	268	267	273	266	268	269	272	268	271	269	95

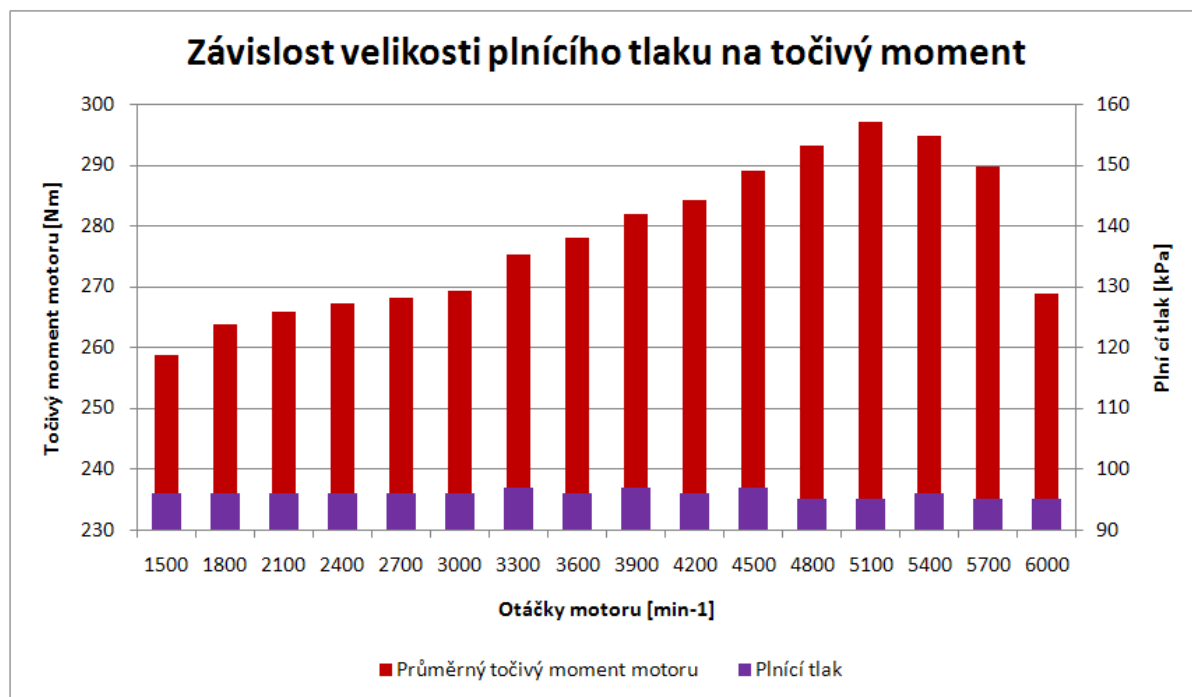
Tabulka č. 5.8 – Stanovení mezních hodnot pro průběh točivého momentu ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro točivý moment motoru [Nm]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	2,53	2,45	3,52	257,04	260,56
1800	2,35	2,45	3,39	262,10	265,50
2100	2,33	2,45	3,38	264,21	267,59
2400	2,25	2,45	3,33	265,54	268,86
2700	2,25	2,45	3,33	266,54	269,86
3000	2,21	2,45	3,30	267,65	270,95
3300	2,21	2,45	3,30	273,65	276,95
3600	2,45	2,45	3,46	276,27	279,73
3900	2,39	2,45	3,43	280,09	283,51
4200	2,33	2,45	3,38	282,41	285,79
4500	2,33	2,45	3,38	287,41	290,79
4800	2,33	2,45	3,38	291,41	294,79
5100	2,31	2,45	3,37	295,32	298,68
5400	2,44	2,45	3,46	293,07	296,53
5700	2,63	2,45	3,60	287,80	291,40
6000	2,33	2,45	3,38	267,21	270,59

Graf na obrázku č. 5.7 znázorňuje průběh točivého momentu, který byl sestaven s dílčích průměrných hodnot v závislosti na otáčkách motoru. Dále jsou zde opět zakresleny křivky dolního mezního intervalu, horního mezního intervalu a plnicího tlaku.

Obrázek č. 5.7 – Průběh točivého momentu motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

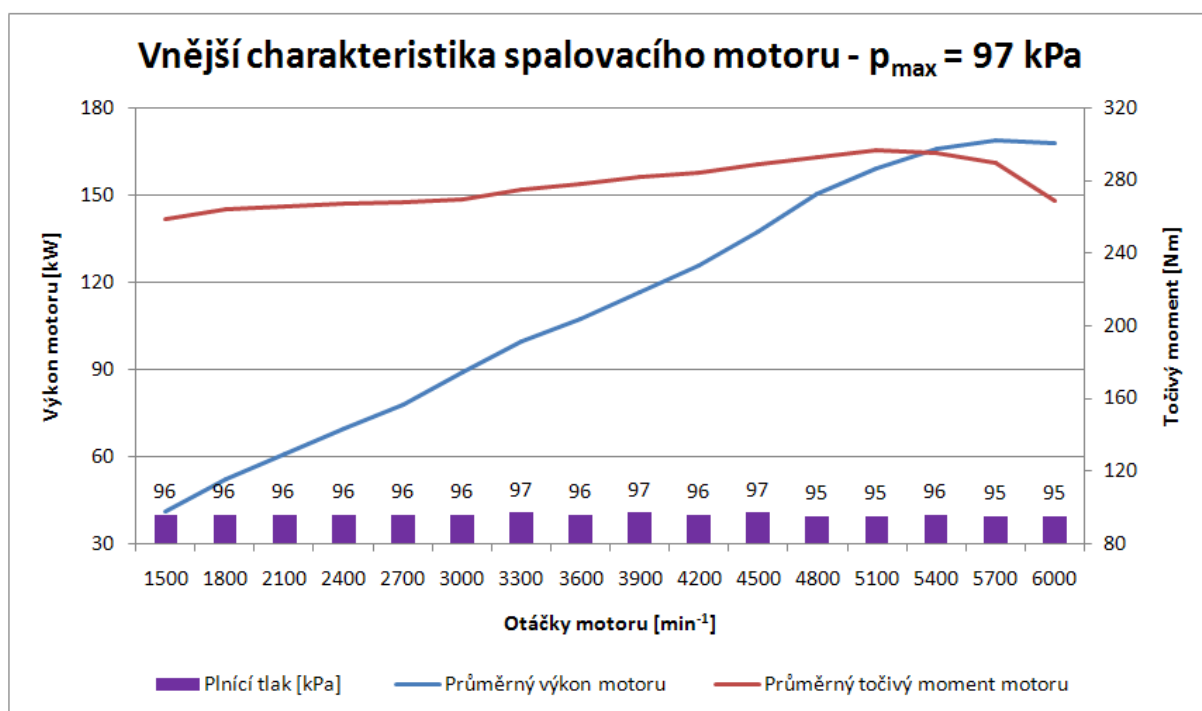
Přímá závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment spalovacího motoru je uvedena na obrázku č. 5.8.



Obrázek č. 5.8 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru – $p_{max} = 97 \text{ kPa}$

5.1.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru

V tomto případě hodnota plnicího tlaku nijak neovlivnila výkon ani točivý moment motoru. Průměrná hodnota z naměřených maximálních výkonů činí 170 kW při 5867 min⁻¹. Nejvyšší výkon byl naměřen při sedmém měření – 172 kW při 5760 min⁻¹. Průměrná hodnota z naměřených maximálních točivých momentů je pak 298 Nm při 5044 min⁻¹. Nejvyšší točivý moment byl naměřen při čtvrtém a osmém měření, kde bylo dosaženo 301 Nm při 5080 min⁻¹ a 5100 min⁻¹. Hodnota plnicího tlaku při měření nepřesáhla hranici 97 kPa. Shrnutí je v tabulce č. 5.9, vnější charakteristika spalovacího motoru, která je sestavena z průměrných hodnot naměřených výkonů a točivých momentů při daných otáčkách je uvedena na obrázku č. 5.9. Vozidlo při tomto plnicím tlaku zrychlí z 0 – 100 km.h⁻¹ za 7,96 s.



Obrázek č. 5.9 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

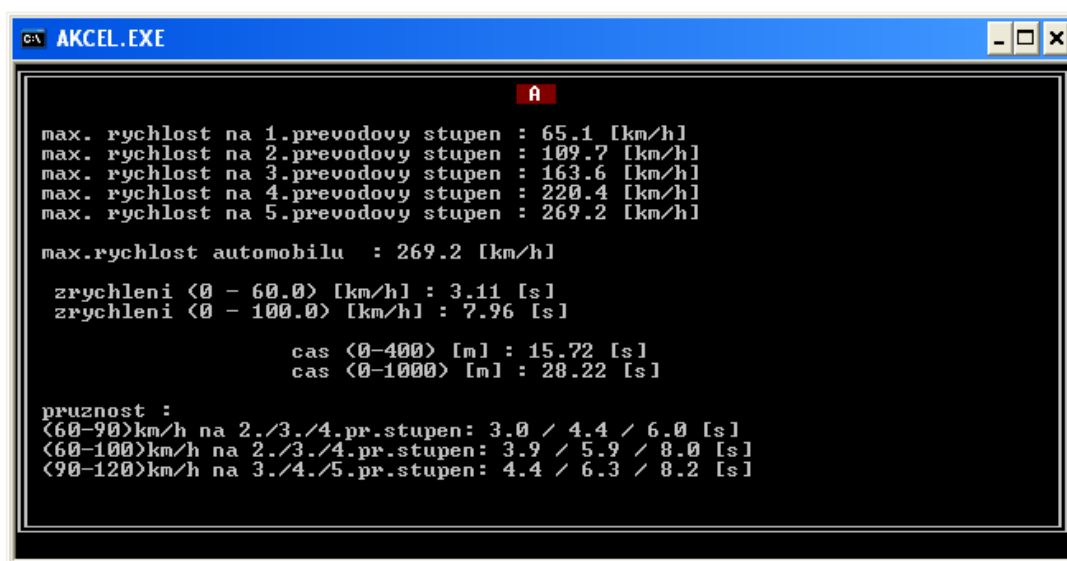
Tabulka č. 5.9 – Shrnutí ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Zhodnocení				
P_{\max}	170	kW	5867	min^{-1}
M_{\max}	298	Nm	5044	min^{-1}
p_{\max}	97			kPa

Pomocí softwarového programu AKCEL byla vypočtena hodnota maximální rychlosti automobilu, hodnoty maximálních rychlostí dosažených na jednotlivé rychlostní stupně i časy zrychlení – viz obrázek č. 5.10. Do softwaru byly zadávány tyto vstupní parametry:

- počet bodů momentové charakteristiky: **16**
- počet stupňů převodovky: **5**
- otáčky n_1, n_2, \dots, n_{16} : **$1500 \text{ min}^{-1}, 1800 \text{ min}^{-1}, \dots, 6000 \text{ min}^{-1}$**
- moment M_1, M_2, \dots, M_{16} : **$259 \text{ Nm}, 264 \text{ Nm}, \dots, 269 \text{ Nm}$**
- pohotovostní hmotnost: **1270 kg**
- čelní plocha: **$1,83 \text{ m}^2$**
- součinitel odporu vzduchu: **0,26**

- poloměr kola: **0,302 m**
- převodový poměr 1. rychlostního stupně: **4,2**
- převodový poměr 2. rychlostního stupně: **2,49**
- převodový poměr 3. rychlostního stupně: **1,67**
- převodový poměr 4. rychlostního stupně: **1,24**
- převodový poměr 5. rychlostního stupně: **1,0**
- převodový poměr stálého převodu: **3,15**



```
AKCEL.EXE

A

max. rychlost na 1.prevodovy stupen : 65.1 [km/h]
max. rychlost na 2.prevodovy stupen : 109.7 [km/h]
max. rychlost na 3.prevodovy stupen : 163.6 [km/h]
max. rychlost na 4.prevodovy stupen : 220.4 [km/h]
max. rychlost na 5.prevodovy stupen : 269.2 [km/h]

max.rychlost automobilu : 269.2 [km/h]

zrychleni <0 - 60.0> [km/h] : 3.11 [s]
zrychleni <0 - 100.0> [km/h] : 7.96 [s]

cas <0-400> [m] : 15.72 [s]
cas <0-1000> [m] : 28.22 [s]

pruznost :
<60-90>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 3.0 / 4.4 / 6.0 [s]
<60-100>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 3.9 / 5.9 / 8.0 [s]
<90-120>km/h na 3./4./5.pr.stupen: 4.4 / 6.3 / 8.2 [s]
```

Obrázek č. 5.10 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Toto měření bylo zpracováno jako vzorové, v následujících podkapitolách budou uvedeny jen některé grafy a tabulky, které ovšem mají dostatečnou vypovídající schopnost. Zhodnocení každého měření je pak provedeno v posledním bodě každé podkapitoly.

5.2 Plnicí tlak – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Před tímto měřením bylo zapotřebí opět napojit hadici v sacím potrubí – viz obrázek č. 5.11. Do obtokového ventilu byla umístěna pružina s minimální tuhostí, která by měla zajistit téměř 100% průchodnost wastegatu. Regulačním šroubem byla vymezena vůle mezi horním víkem obtokového ventilu a samotnou pružinou. Poté se přistouplo k samotnému měření. Protokol o měření, chybějící tabulky a grafy obsahuje příloha C.



Obrázek č. 5.11 - Měření výkonu přeplňovaného motoru

5.2.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru

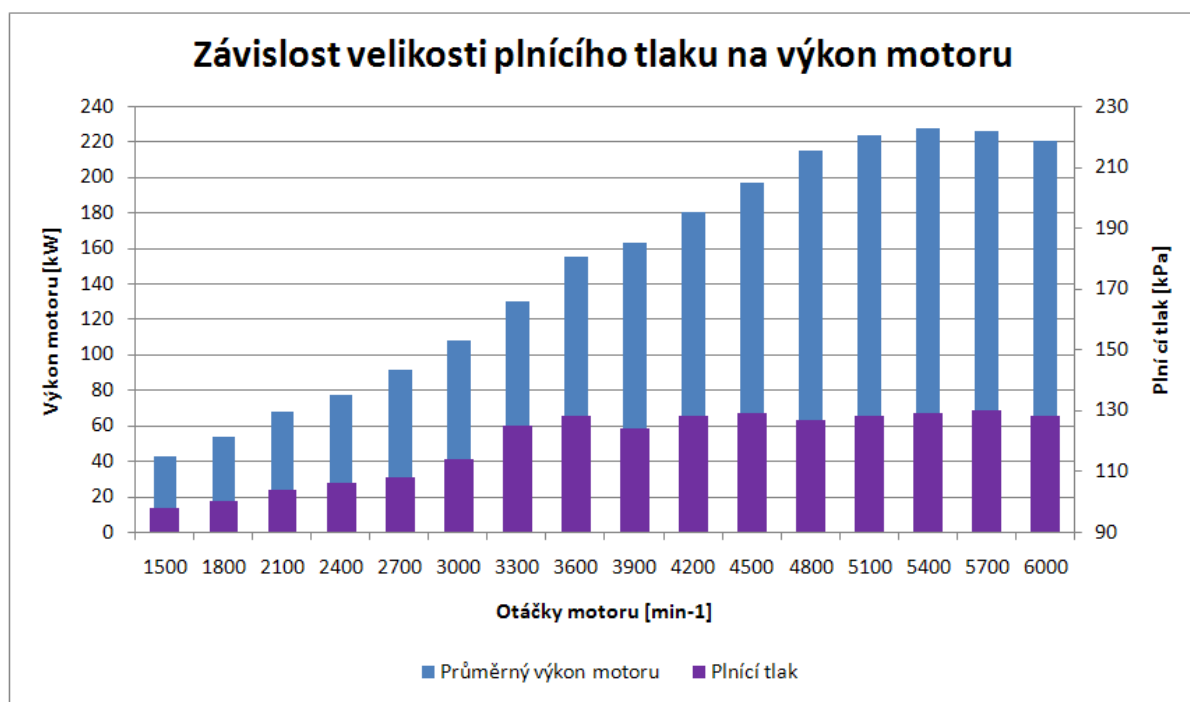
Tabulka č. 5.10 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Maximální výkon motoru			
Počet měření	$P_{\max} [\text{kW}]$	$n_{P_{\max}} [\text{min}^{-1}]$	$p_{P_{\max}} [\text{kPa}]$
1	229,0	5270	129
2	230,0	5340	129
3	229,5	5180	130
4	227,0	5240	127
5	228,5	5320	130
6	229,5	5240	128
7	229,0	5260	130
8	226,5	5190	129
9	227,5	5320	128
10	229,5	5270	130
Ø	229	5263	129

5.2.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru

Tabulka č. 5.11 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{max} = 130 \text{ kPa}$

Otáčky motoru [min-1]	Naměřený výkon [kW]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	42	44	43	41	42	44	45	40	39	45	42,5	98
1800	53	55	54	52	53	55	56	51	50	56	53,5	100
2100	67	69	68	66	67	69	70	65	64	70	67,5	104
2400	78	79	78	76	77	79	80	75	74	80	77,6	106
2700	89	93	92	90	91	93	94	89	88	94	91,3	108
3000	107	110	109	107	108	110	108	106	105	111	108,1	114
3300	130	132	131	129	130	132	130	128	127	132	130,1	125
3600	155	157	156	154	155	157	155	153	152	157	155,1	128
3900	163	165	164	162	163	165	164	161	160	165	163,2	124
4200	180	182	181	179	180	182	181	178	177	182	180,2	128
4500	197	199	198	196	197	199	198	195	194	199	197,2	129
4800	216	217	215	214	215	217	216	213	212	217	215,2	127
5100	224	225	223	222	223	225	224	221	221	224	223,2	128
5400	228	229	228	226	227	228	228	225	226	228	227,3	129
5700	227	228	227	225	226	226	227	224	225	227	226,2	130
6000	222	222	221	219	220	220	221	218	219	221	220,3	128



Obrázek č. 5.12 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{max} = 130 \text{ kPa}$

5.2.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment motoru

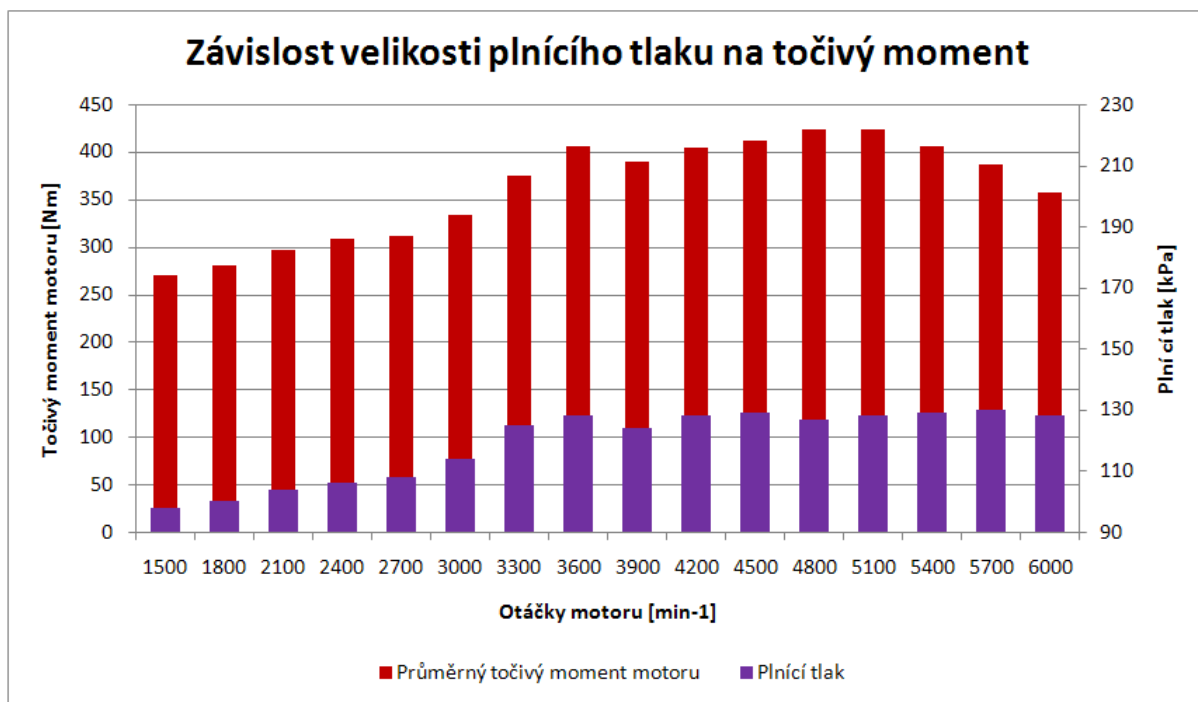
Tabulka č. 5.12 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{max} = 130 \text{ kPa}$

Maximální točivý moment motoru			
Počet měření	$M_{max} [\text{Nm}]$	$n_{Mmax} [\text{min}^{-1}]$	$p_{Mmax} [\text{kPa}]$
1	426	4960	129
2	424	4940	129
3	427	4980	129
4	427	5030	130
5	425	4910	128
6	423	4920	130
7	425	4910	129
8	423	4980	129
9	427	4990	128
10	426	4910	129
Ø	425	4953	129

5.2.4 Naměřené hodnoty – točivý moment motoru

Tabulka č. 5.13 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{max} = 130 \text{ kPa}$

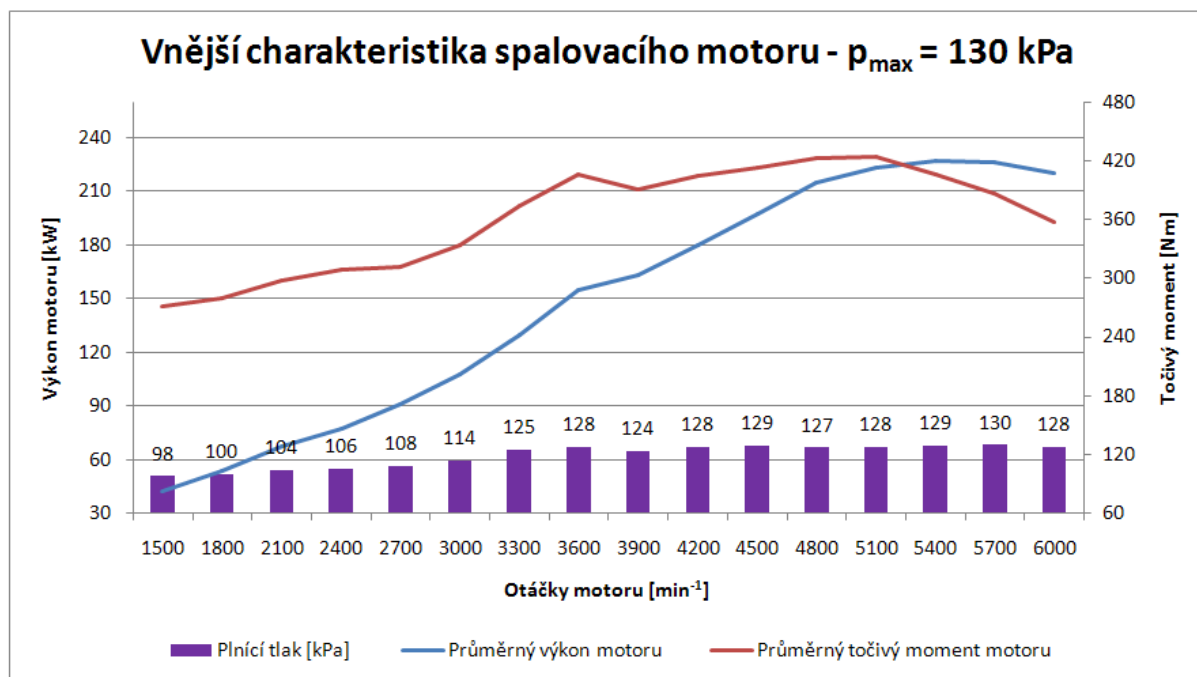
Otáčky motoru [min-1]	Naměřený točivý moment [Nm]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	270	270	270	274	273	269	271	268	272	272	271	98
1800	280	279	279	283	282	278	280	277	281	281	280	100
2100	298	296	297	300	299	295	297	294	298	298	297	104
2400	310	308	309	312	311	307	309	306	310	310	309	106
2700	312	311	310	315	314	310	312	309	314	313	312	108
3000	335	333	332	337	336	332	334	331	336	335	334	114
3300	375	373	374	377	376	372	374	371	376	375	374	125
3600	407	405	406	409	407	404	406	403	408	407	406	128
3900	392	389	390	393	391	388	390	388	392	391	390	124
4200	405	403	405	407	405	402	404	402	406	405	404	128
4500	413	411	413	415	412	410	412	410	414	413	412	129
4800	424	422	424	425	423	421	423	421	425	424	423	127
5100	425	423	426	426	424	422	424	422	426	425	424	128
5400	405	403	406	409	405	402	401	408	407	409	406	129
5700	385	384	387	390	386	383	382	389	388	389	386	130
6000	357	355	358	361	357	354	353	360	359	360	357	128



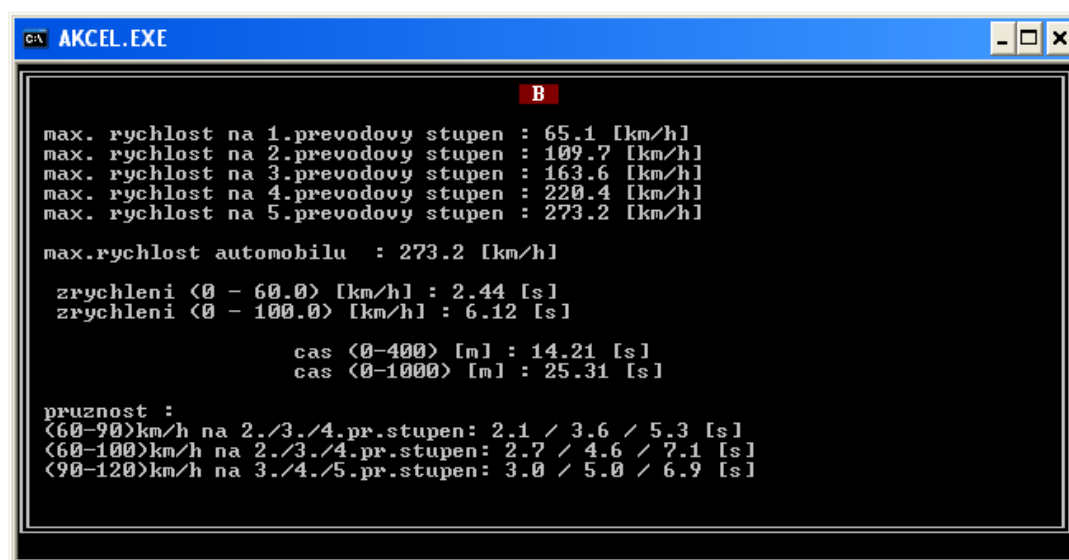
Obrázek č. 5.13 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru – $p_{max} = 130 \text{ kPa}$

5.2.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru

V tomto případě hodnota plnicího tlaku výrazně ovlivnila výkon i točivý moment motoru. Hodnota plnicího tlaku se zvyšovala s otáčkami motoru, resp. otáčkami turbodmychadla. Teprve při otáčkách 3600 min^{-1} začalo dmychadlo plnit maximálním tlakem, začal pracovat obtokový ventil, který byl doposud uzavřen. To má za následek mírný výkyv točivého momentu mezi otáčkami 3600 min^{-1} a 3900 min^{-1} . Jelikož obtokový ventil pracuje dynamicky, tedy kmitá, není plnicí tlak konstantní. Průměrná hodnota z naměřených maximálních výkonů činí 229 kW při 5263 min^{-1} . Nejvyšší výkon byl naměřen při druhém měření – 230 kW při 5240 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních točivých momentů je pak 425 Nm při 4953 min^{-1} . Nejvyšší točivý moment byl naměřen při třetím, čtvrtém a devátém měření, kde bylo dosaženo 427 Nm při 4980 min^{-1} , 5030 min^{-1} a 4990 min^{-1} . Hodnota plnicího tlaku při měření nepřesáhla hranici 130 kPa . Vozidlo při tomto plnicím tlaku zrychlí z $0 - 100 \text{ km.h}^{-1}$ za $6,12 \text{ s}$.

Obrázek č. 5.14 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$ Tabulka č. 5.14 – Shrnutí ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

Zhodnocení				
P_{\max}	229	kW	5263	min^{-1}
M_{\max}	425	Nm	4953	min^{-1}
p_{\max}	130			kPa

Obrázek č. 5.15 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

5.3 Plnicí tlak – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Před tímto měřením byl regulační šroub obtokového ventilu přitáhnut o dvě otáčky. Přítlak pružiny se nepatrně zvýšil, stejně jako hodnota maximálního plnicího tlaku. Poté bylo opět provedeno deset měření. Protokol o měření, chybějící tabulky a grafy obsahuje příloha D.

5.3.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru

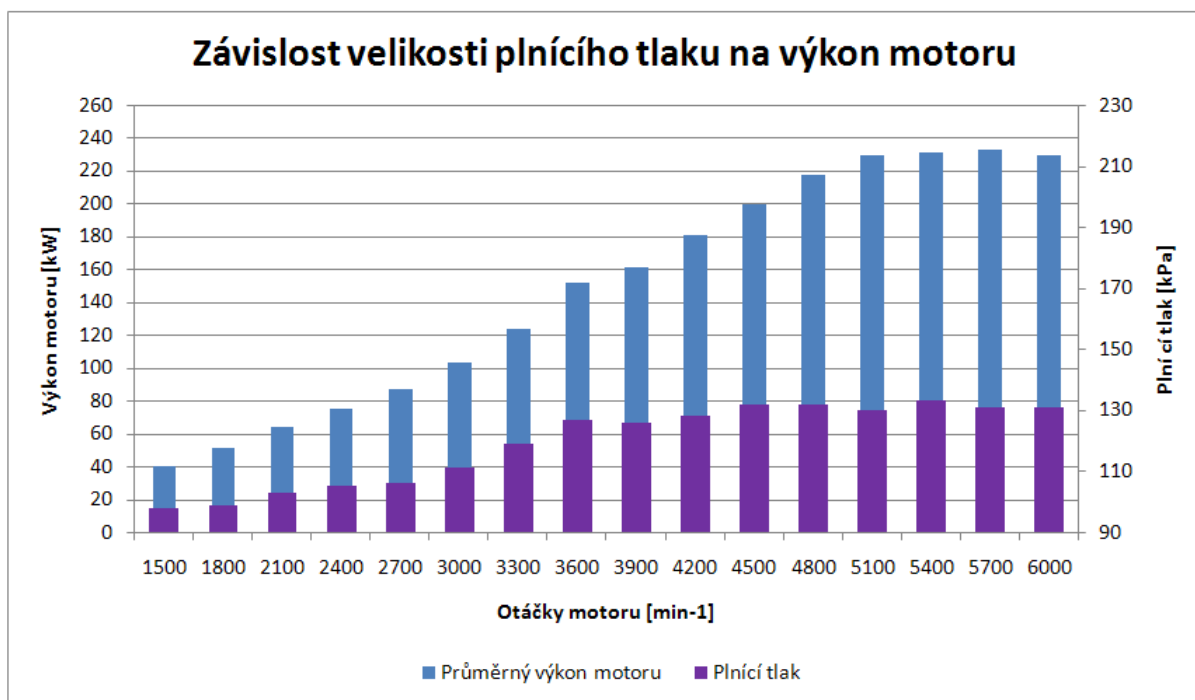
Tabulka č. 5.15 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Maximální výkon motoru			
Počet měření	$P_{\max} [\text{kW}]$	$n_{P_{\max}} [\text{min}^{-1}]$	$p_{P_{\max}} [\text{kPa}]$
1	235,5	5670	133
2	233,0	5590	132
3	231,5	5680	131
4	232,0	5650	133
5	232,0	5660	132
6	234,5	5690	131
7	235,0	5720	132
8	231,0	5680	132
9	234,0	5700	133
10	232,5	5620	131
Ø	233	5666	132

5.3.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru

Tabulka č. 5.16 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Otáčky motoru [min-1]	Naměřený výkon [kW]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	43	42	39	37	36	38	40	43	44	39	40,1	98
1800	53	53	50	48	47	49	51	54	55	50	51,0	99
2100	65	66	63	61	60	62	64	67	68	63	63,9	103
2400	77	77	74	72	71	73	75	78	79	75	75,1	105
2700	87	89	86	84	83	85	87	90	91	87	86,9	106
3000	103	105	102	100	99	101	103	106	107	103	102,9	111
3300	125	126	123	121	120	122	124	127	128	124	124,0	119
3600	152	154	151	149	148	151	152	155	156	153	152,1	127
3900	161	163	160	158	157	159	161	164	165	162	161,0	126
4200	181	183	180	178	178	179	181	184	185	179	180,8	128
4500	200	202	199	197	197	198	200	203	204	198	199,8	132
4800	219	220	217	215	215	216	218	221	222	216	217,9	132
5100	231	232	229	227	228	228	230	231	231	228	229,5	130
5400	233	234	231	229	230	230	232	233	233	230	231,5	133
5700	234	235	232	230	231	231	233	234	234	231	232,5	131
6000	232	232	229	227	229	228	231	230	231	228	229,7	131



Obrázek č. 5.16 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{max} = 133 \text{ kPa}$

5.3.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment

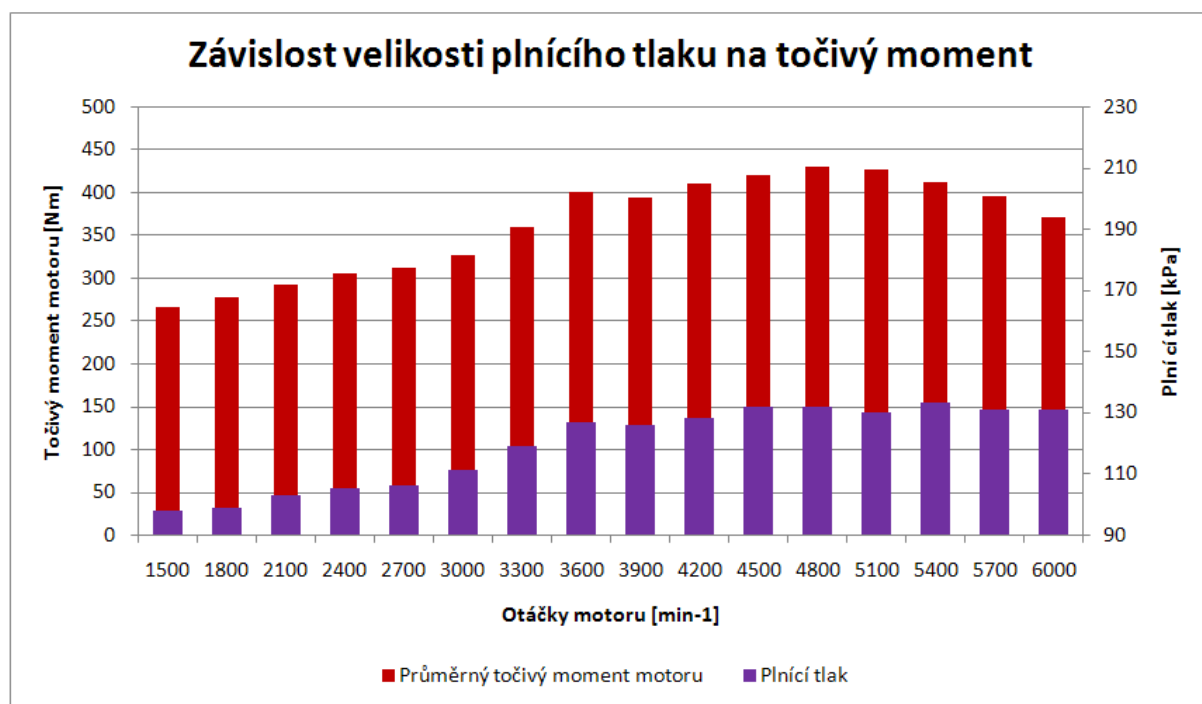
Tabulka č. 5.17 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{max} = 133 \text{ kPa}$

Maximální točivý moment motoru			
Počet měření	M_{max} [Nm]	n_{Mmax} [min ⁻¹]	p_{Mmax} [kPa]
1	432	4940	132
2	432	4930	129
3	430	4980	130
4	433	4880	131
5	429	4930	130
6	431	4970	131
7	429	4860	131
8	430	4940	130
9	433	4960	132
10	432	4990	131
Ø	431	4938	131

5.3.4 Naměřené hodnoty – točivý moment

Tabulka č. 5.18 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{max} = 133 \text{ kPa}$

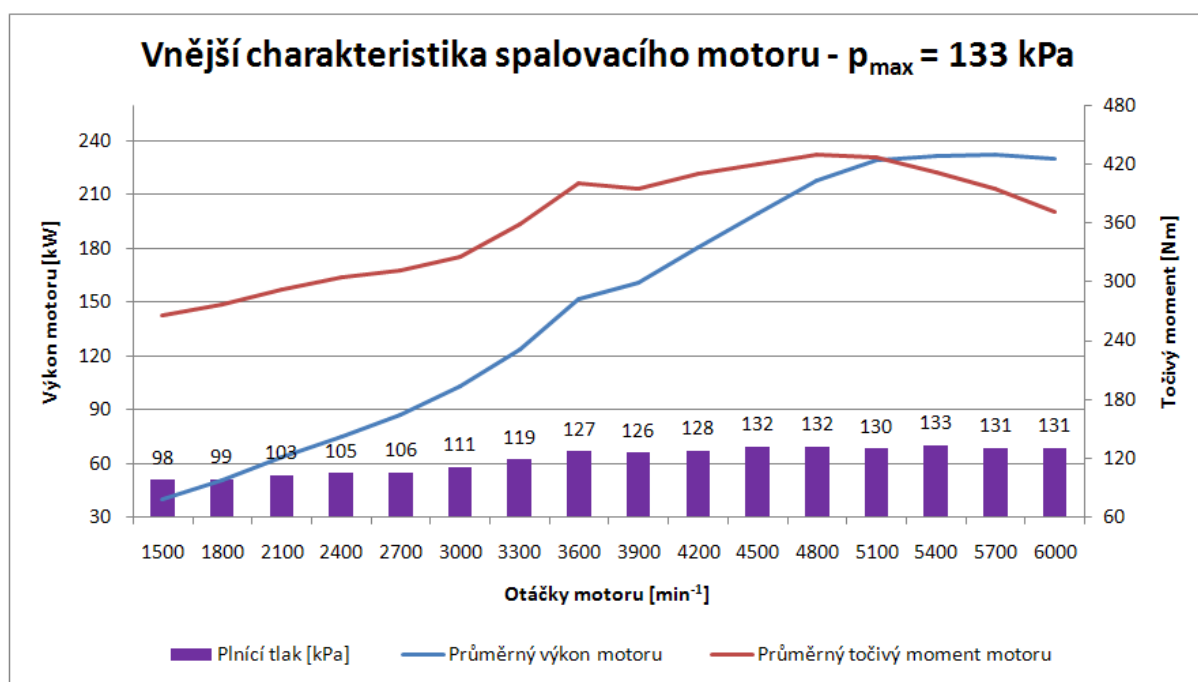
Otáčky motoru [min-1]	Naměřený točivý moment [Nm]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	265	267	264	266	265	266	267	264	268	263	266	98
1800	277	279	276	278	277	278	279	276	280	275	278	99
2100	292	294	291	292	292	293	294	291	295	290	292	103
2400	305	306	303	304	304	305	306	304	307	302	305	105
2700	310	313	310	308	311	312	311	311	314	309	311	106
3000	326	328	325	323	325	327	326	326	329	324	326	111
3300	360	361	358	357	358	360	359	360	362	357	359	119
3600	400	402	399	398	399	401	401	401	403	398	400	127
3900	395	396	393	392	393	395	395	395	397	392	394	126
4200	410	412	409	413	409	411	409	410	413	408	410	128
4500	420	421	419	422	418	420	418	419	422	421	420	132
4800	430	431	429	432	428	430	428	429	432	431	430	132
5100	428	428	426	429	425	427	425	426	429	428	427	130
5400	412	413	411	414	411	412	410	411	414	413	412	133
5700	395	395	393	396	394	394	392	395	396	395	395	131
6000	370	372	370	373	371	372	369	372	373	371	371	131



Obrázek č. 5.17 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru – $p_{max} = 133 \text{ kPa}$

5.3.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru

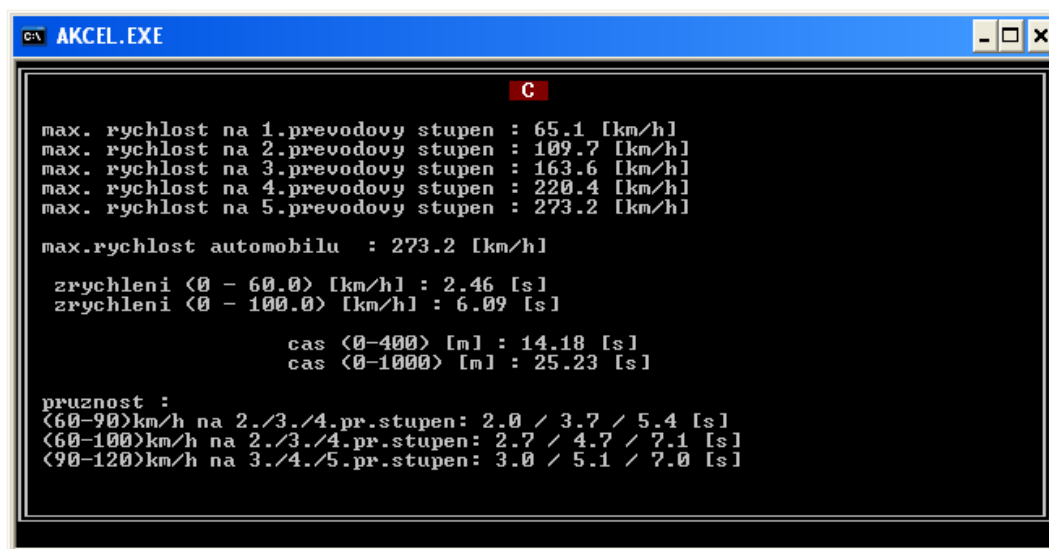
Plnicí tlak se oproti předchozímu měření zvýšil minimálně. Proto byl nárůst maximálního výkonu pouze o 4 kW a maximální točivý moment se zvýšil jen o 6 Nm. Stejně jako v předchozím případě začalo dmychadlo plnit maximálním tlakem až při otáčkách 3600 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních výkonů činí 233 kW při 5666 min^{-1} . Nejvyšší výkon byl naměřen hned při prvním měření – 235,5 kW při 5670 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních točivých momentů je pak 431 Nm při 4938 min^{-1} . Nejvyšší točivý moment byl naměřen při čtvrtém a devátém měření, kde bylo dosaženo 427 Nm při 4880 min^{-1} a 4960 min^{-1} . Hodnota plnicího tlaku při měření nepřesáhla hranici 133 kPa. Vozidlo při tomto plnicím tlaku zrychlí z 0 – 100 km.h^{-1} za 6,09 s.



Obrázek č. 5.18 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.19 – Shrnutí ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)

Zhodnocení				
P_{\max}	233	kW	5666	min^{-1}
M_{\max}	431	Nm	4938	min^{-1}
p_{\max}	133			kPa



```

C:\ AKCEL.EXE

C

max. rychlost na 1.prevodovy stupen : 65.1 [km/h]
max. rychlost na 2.prevodovy stupen : 109.7 [km/h]
max. rychlost na 3.prevodovy stupen : 163.6 [km/h]
max. rychlost na 4.prevodovy stupen : 220.4 [km/h]
max. rychlost na 5.prevodovy stupen : 273.2 [km/h]

max.rychlost automobilu : 273.2 [km/h]

zrychleni <0 - 60.0> [km/h] : 2.46 [s]
zrychleni <0 - 100.0> [km/h] : 6.09 [s]

cas <0-400> [m] : 14.18 [s]
cas <0-1000> [m] : 25.23 [s]

pruznost :
<60-90>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 2.0 / 3.7 / 5.4 [s]
<60-100>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 2.7 / 4.7 / 7.1 [s]
<90-120>km/h na 3./4./5.pr.stupen: 3.0 / 5.1 / 7.0 [s]

```

Obrázek č. 5.19 – Výpočtový program AKCEL ($p_{max} = 133 \text{ kPa}$)

5.4 Plnicí tlak – $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

Před tímto měřením byl regulační šroub obtokového ventilu znovu přitáhnut o další dvě otáčky. Předpětí pružiny se opět zvýšilo spolu s hodnotou maximálního plnicího tlaku. Rovněž bylo provedeno deset měření. Protokol o měření, chybějící tabulky a grafy k tomuto měření obsahuje příloha E.

5.4.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru

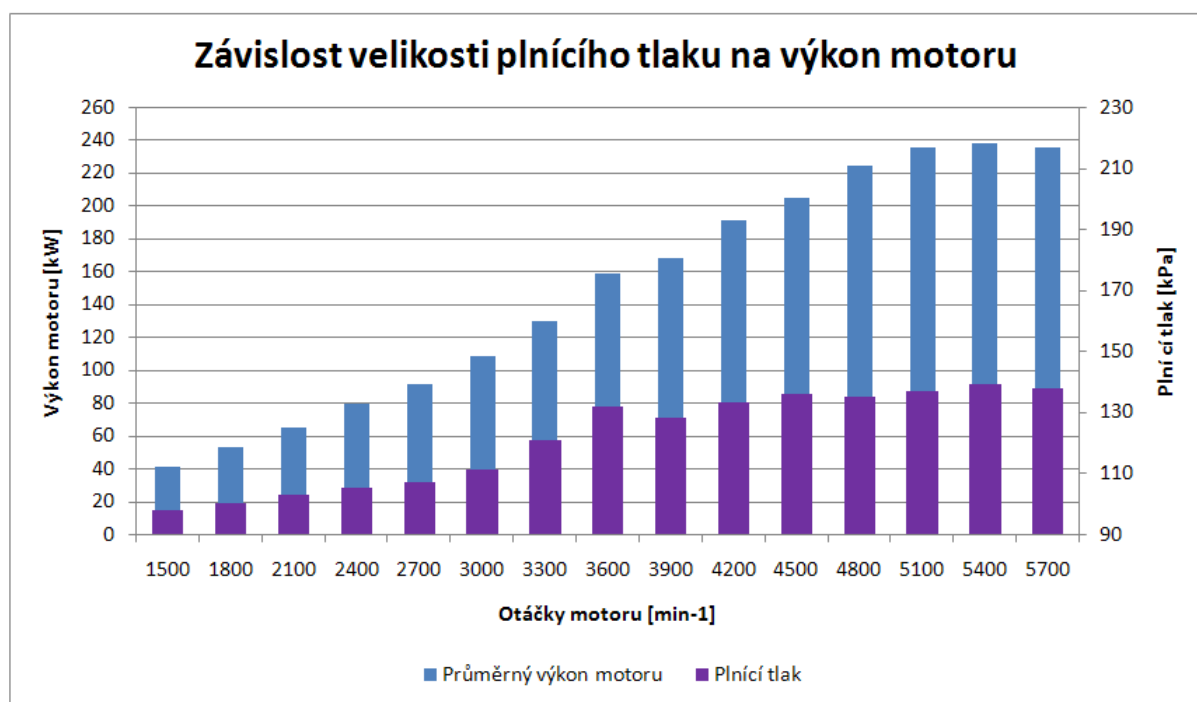
Tabulka č. 5.20 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

Maximální výkon motoru			
Počet měření	$P_{max} [\text{kW}]$	$n_{Pmax} [\text{min}^{-1}]$	$p_{Pmax} [\text{kPa}]$
1	236,5	5330	137
2	239,0	5310	138
3	237,5	5300	139
4	240,5	5290	139
5	238,0	5410	140
6	239,5	5380	138
7	240,5	5340	139
8	239,0	5330	139
9	240,0	5300	137
10	238,5	5320	139
Ø	239	5331	139

5.4.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru

Tabulka č. 5.21 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

Otáčky motoru [min-1]	Naměřený výkon [kW]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	40	41	39	42	40	38	43	43	44	42	41,2	98
1800	53	53	51	54	52	50	55	55	56	55	53,4	100
2100	64	64	62	65	63	62	66	67	67	66	64,6	103
2400	77	79	77	80	78	77	81	82	82	80	79,3	105
2700	88	91	89	92	90	91	93	94	94	92	91,4	107
3000	104	108	106	109	107	108	110	112	111	109	108,4	111
3300	125	130	128	131	129	129	132	134	131	130	129,9	121
3600	155	159	157	160	158	158	161	163	160	159	159,0	132
3900	165	168	166	169	167	168	170	170	169	168	168,0	128
4200	189	191	189	192	190	191	193	193	190	189	190,7	133
4500	203	205	203	206	204	204	207	206	204	203	204,5	136
4800	221	225	223	226	224	224	227	226	224	223	224,3	135
5100	233	236	234	237	235	236	238	236	237	235	235,7	137
5400	235	238	236	239	237	238	240	238	239	237	237,7	139
5700	234	236	234	238	235	235	238	236	237	234	235,7	138



Obrázek č. 5.20 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

5.4.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment

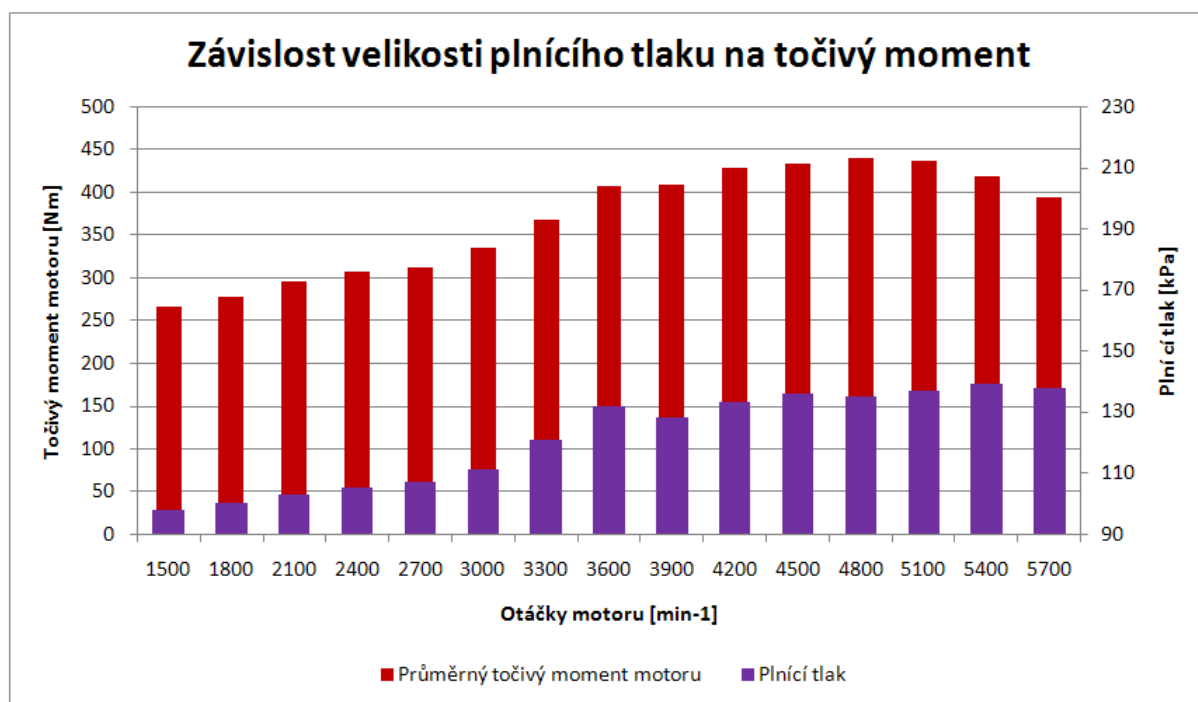
Tabulka č. 5.22 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

Maximální točivý moment motoru			
Počet měření	$M_{max} [\text{Nm}]$	$n_{Mmax} [\text{min}^{-1}]$	$p_{Mmax} [\text{kPa}]$
1	439	4820	134
2	441	4890	136
3	440	4790	136
4	440	4810	134
5	439	4820	134
6	443	4860	137
7	442	4780	136
8	443	4890	134
9	443	4810	135
10	441	4790	136
Ø	441	4826	135

5.4.4 Naměřené hodnoty – točivý moment motoru

Tabulka č. 5.23 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

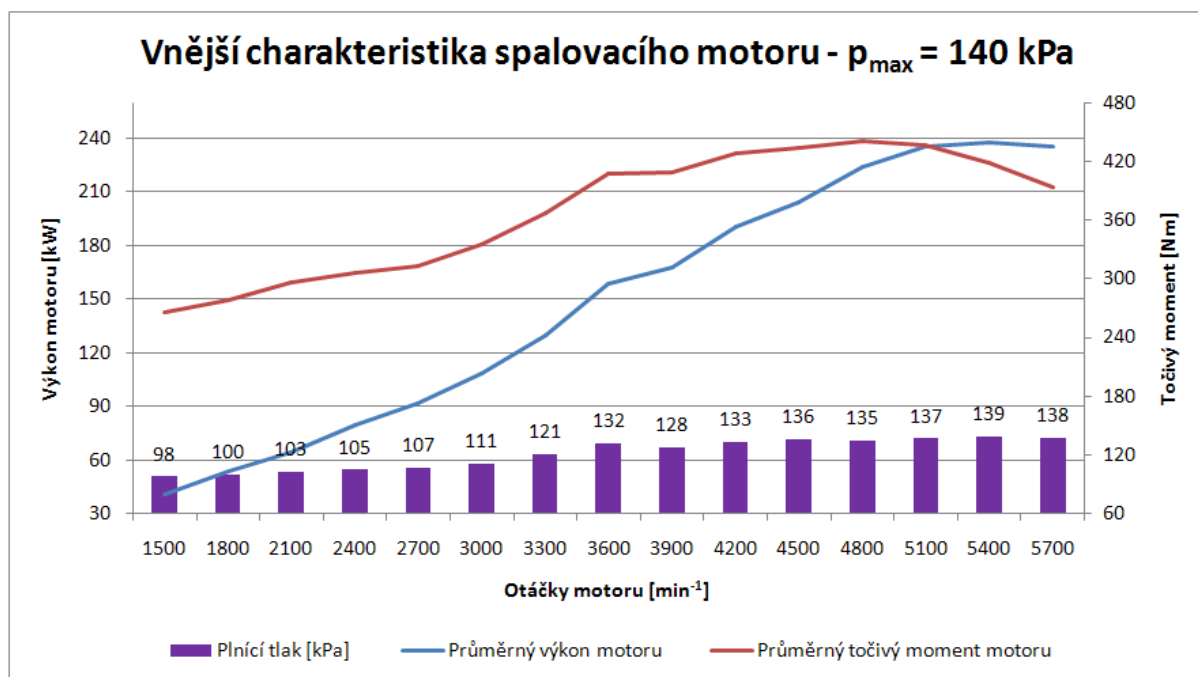
Otáčky motoru [min-1]	Naměřený točivý moment [Nm]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	265	265	264	267	263	267	266	269	265	267	266	98
1800	275	277	276	279	275	279	278	281	277	279	278	100
2100	295	295	294	295	293	297	296	299	297	296	296	103
2400	305	306	305	306	304	308	307	309	308	307	307	105
2700	310	312	311	314	310	314	313	315	313	313	313	107
3000	330	334	333	336	332	336	335	337	337	336	335	111
3300	365	367	366	367	365	369	368	371	370	369	368	121
3600	405	406	405	406	404	408	407	410	409	407	407	132
3900	406	408	407	408	406	410	409	411	409	409	408	128
4200	425	428	427	428	426	430	429	431	429	429	428	133
4500	430	433	432	432	431	435	434	435	435	433	433	136
4800	438	440	439	439	438	442	441	442	442	440	440	135
5100	435	437	436	436	435	439	438	439	439	436	437	137
5400	415	418	417	419	416	419	419	422	420	417	418	139
5700	390	394	393	395	392	395	395	398	396	393	394	138



Obrázek č. 5.21 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru –
 $p_{max} = 140 \text{ kPa}$

5.4.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru

Maximální plnicí tlak se oproti předchozímu měření zvýšil o 7 kPa. Maximální výkon vzrostl o 6 kW a maximální točivý moment se zvýšil o 10 Nm. Stejně jako v předchozích případech můžeme vidět plnění maximálním tlakem až při dosažení otáček 3600 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních výkonů činí 239 kW při 5331 min^{-1} . Nejvyšší výkon byl naměřen ve čtvrtém a sedmém měření – 240,5 kW při 5290 min^{-1} a 5340 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních točivých momentů je pak 441 Nm při 4826 min^{-1} . Nejvyšší točivý moment byl naměřen při šestém, osmém a devátém měření, kde bylo dosaženo 443 Nm při 4860 min^{-1} , 4890 min^{-1} a 4810 min^{-1} . Hodnota plnicího tlaku při měření nepřesáhla hranici 140 kPa. Vozidlo při tomto plnicím tlaku zrychlí z 0 – 100 km.h^{-1} za 5,99 s.

Obrázek č. 5.22 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$ Tabulka č. 5.24 – Shrnutí ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

Zhodnocení				
P_{\max}	239	kW	5331	min^{-1}
M_{\max}	441	Nm	4826	min^{-1}
p_{\max}	140			kPa

```

AKCEL.EXE

D

max. rychlost na 1.prevodoový stupen : 65.1 [km/h]
max. rychlost na 2.prevodoový stupen : 109.7 [km/h]
max. rychlost na 3.prevodoový stupen : 163.6 [km/h]
max. rychlost na 4.prevodoový stupen : 220.4 [km/h]
max. rychlost na 5.prevodoový stupen : 273.2 [km/h]

max.rychlost automobilu : 273.2 [km/h]

zrychleni <0 - 60.0> [km/h] : 2.41 [s]
zrychleni <0 - 100.0> [km/h] : 5.99 [s]

cas <0-400> [m] : 14.09 [s]
cas <0-1000> [m] : 25.07 [s]

pruznost :
<60-90>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 2.0 / 3.6 / 5.4 [s]
<60-100>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 2.6 / 4.6 / 7.1 [s]
<90-120>km/h na 3./4./5.pr.stupen: 2.9 / 5.0 / 6.9 [s]

```

Obrázek č. 5.23 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

5.5 Plnicí tlak – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Před tímto posledním měřením byl regulační šroub obtokového ventilu opět přitáhnut o další dvě otáčky. Opět se zvýšil přítlak pružiny i hodnota maximálního plnicího tlaku oproti předešlým měřením. Pro tento plnicí tlak bylo rovněž provedeno deset měření. Protokol o měření, chybějící tabulky a grafy obsahuje příloha F.

5.5.1 Naměřené hodnoty – maximální výkon motoru

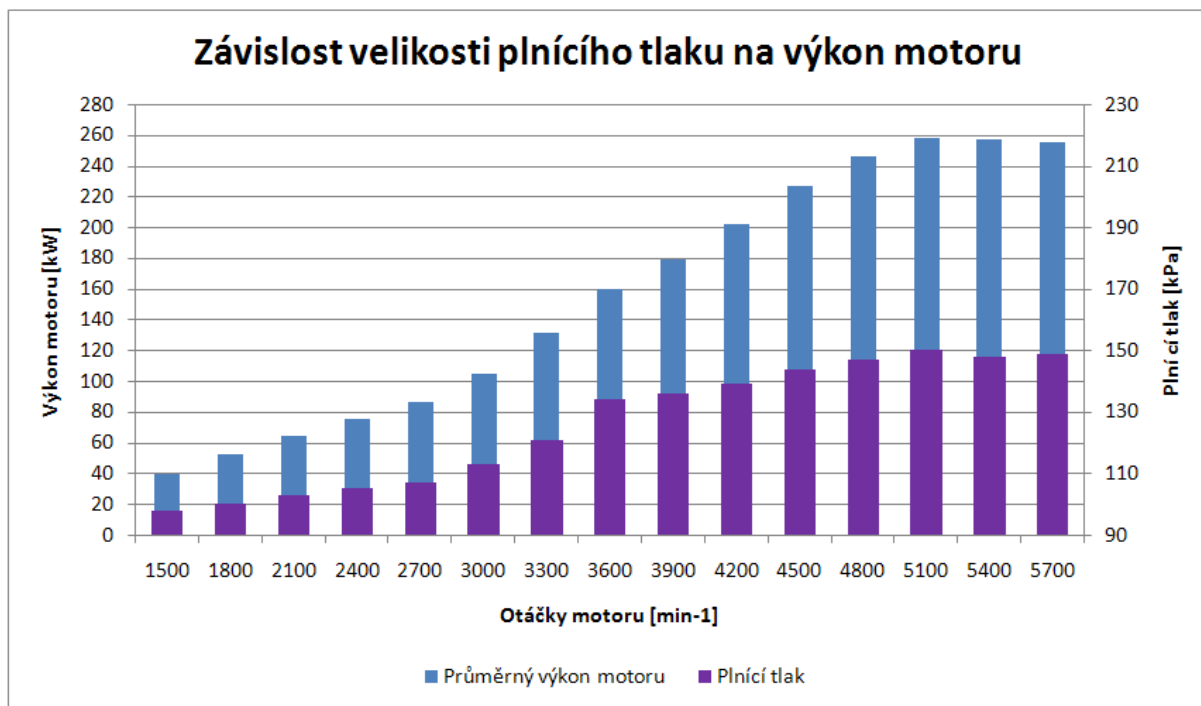
Tabulka č. 5.25 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Maximální výkon motoru			
Počet měření	$P_{\max} [\text{kW}]$	$n_{P_{\max}} [\text{min}^{-1}]$	$p_{P_{\max}} [\text{kPa}]$
1	260,5	5270	149
2	260,0	5250	149
3	259,0	5200	150
4	258,5	5300	148
5	260,5	5190	150
6	261,0	5290	151
7	260,5	5260	150
8	258,5	5240	149
9	259,0	5310	151
10	260,0	5290	150
Ø	260	5260	150

5.5.2 Naměřené hodnoty – výkon motoru

Tabulka č. 5.26 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Otáčky motoru [min-1]	Naměřený výkon [kW]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	42	40	39	40	40	41	37	38	39	38	39,4	98
1800	54	53	52	53	53	54	50	51	52	51	52,3	100
2100	66	65	64	64	65	66	63	63	65	64	64,5	103
2400	78	76	75	75	77	77	74	74	76	75	75,7	105
2700	87	87	86	85	88	88	84	85	85	86	86,1	107
3000	105	106	105	104	107	107	103	104	104	106	105,1	113
3300	129	132	131	129	134	133	130	130	130	132	131,0	121
3600	159	161	160	158	163	162	159	159	158	161	160,0	134
3900	179	180	179	176	182	181	179	178	177	182	179,3	136
4200	201	203	202	199	204	204	202	201	200	205	202,1	139
4500	225	228	227	225	229	229	227	226	226	230	227,2	144
4800	246	247	246	244	248	248	247	245	245	247	246,3	147
5100	259	259	258	257	259	260	259	257	258	259	258,5	150
5400	258	258	256	255	258	258	258	256	257	257	257,1	148
5700	256	255	254	254	256	257	256	254	255	254	255,1	149



Obrázek č. 5.24 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{max} = 151 \text{ kPa}$

5.5.3 Naměřené hodnoty – maximální točivý moment

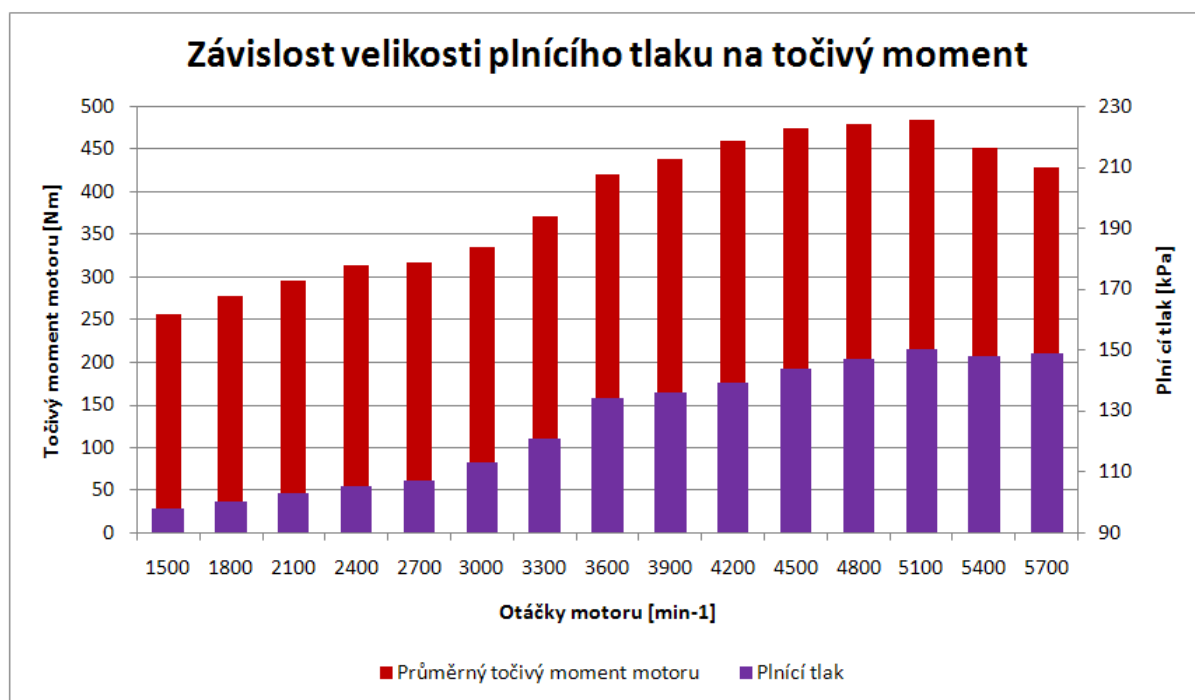
Tabulka č. 5.27 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{max} = 151 \text{ kPa}$

Maximální točivý moment motoru			
Počet měření	$M_{max} [\text{Nm}]$	$n_{Mmax} [\text{min}^{-1}]$	$p_{Mmax} [\text{kPa}]$
1	485	5080	150
2	484	5110	151
3	485	5090	150
4	483	5030	149
5	485	5040	150
6	486	5130	148
7	484	5060	151
8	482	5080	150
9	483	5140	149
10	486	5100	149
Ø	484	5086	150

5.5.4 Naměřené hodnoty – točivý moment motoru

Tabulka č. 5.28 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{max} = 151 \text{ kPa}$

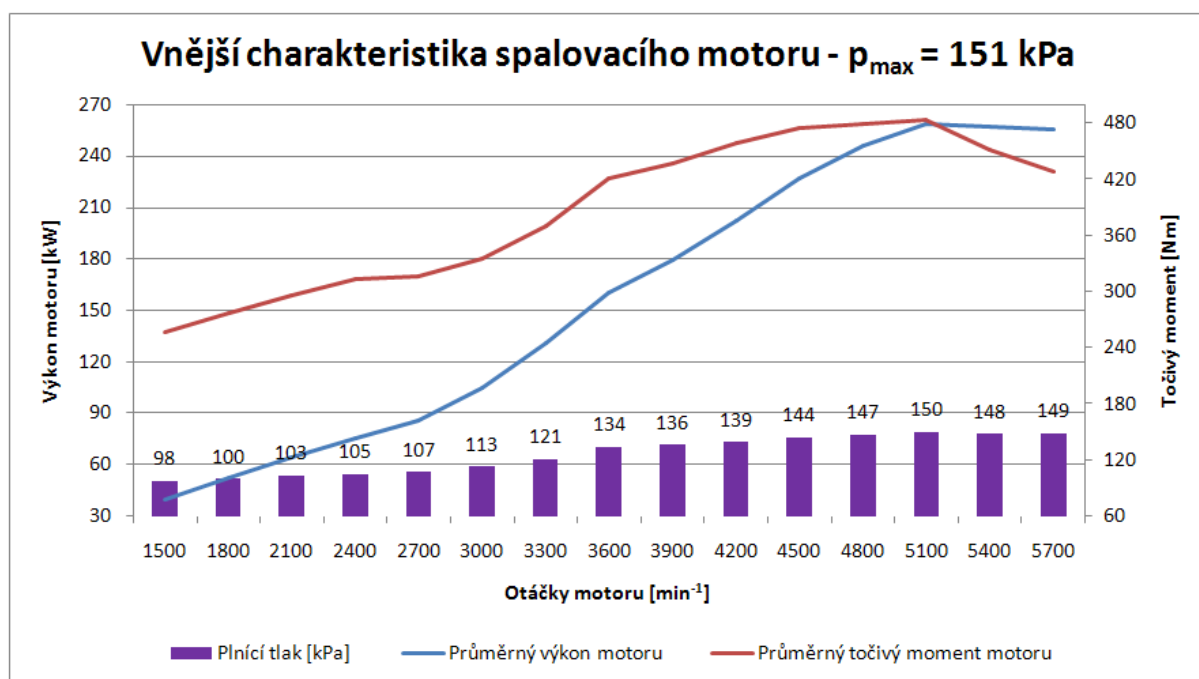
Otáčky motoru [min-1]	Naměřený točivý moment [Nm]											Plnicí tlak [kPa]
	Počet měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	
1500	258	255	256	254	256	257	256	253	257	258	256	98
1800	278	276	277	275	277	278	277	274	278	279	277	100
2100	295	295	296	294	296	297	296	293	295	298	296	103
2400	312	313	314	312	315	315	315	311	313	316	314	105
2700	314	316	317	315	318	318	318	314	315	319	316	107
3000	334	335	336	334	335	337	337	333	334	338	335	113
3300	368	370	371	369	370	372	373	368	368	373	370	121
3600	419	420	421	419	421	422	423	418	418	423	420	134
3900	436	437	438	436	438	439	439	435	435	440	437	136
4200	459	459	460	458	461	461	461	457	456	462	459	139
4500	476	474	475	473	476	476	476	472	471	477	475	144
4800	481	479	480	478	480	481	479	477	478	482	480	147
5100	484	483	484	482	484	485	483	481	482	486	483	150
5400	453	451	453	451	452	453	451	449	450	454	452	148
5700	428	427	429	427	428	429	427	425	426	430	428	149



Obrázek č.5.25 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru – $p_{max} = 151 \text{ kPa}$

5.5.5 Vnější charakteristika spalovacího motoru

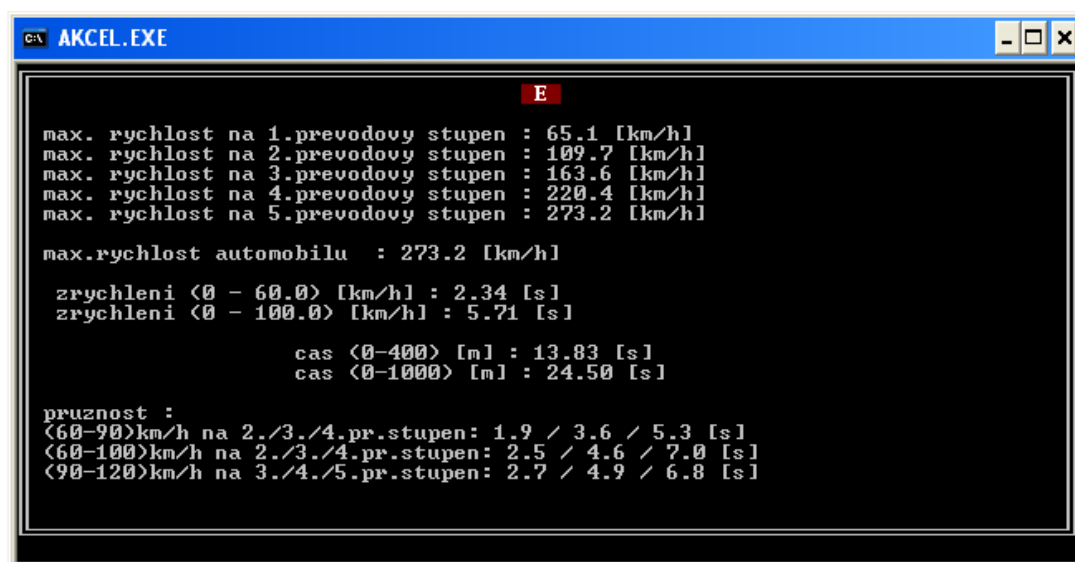
Při tomto měření bylo dosaženo nejvyššího výkonu i točivého momentu. Maximální plnicí tlak se oproti předchozímu měření zvýšil o 11 kPa. Maximální výkon vzrostl o 21 kW a maximální točivý moment se zvýšil o 43 Nm. K plnění maximálním tlakem došlo až po dosažení otáček 4500 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních výkonů činí 260 kW při 5260 min^{-1} , což je zároveň limitní hodnota pro válcovou zkušebnu MAHA LPS 2000. Nejvyšší výkon byl naměřen při šestém měření – 261 kW při 5290 min^{-1} . Průměrná hodnota z naměřených maximálních točivých momentů pak činila 484 Nm při 5086 min^{-1} . Nejvyšší točivý moment byl naměřen při šestém a desátém měření, kdy bylo dosaženo 486 Nm při 5130 min^{-1} a 5100 min^{-1} . Hodnota plnicího tlaku při měření nepřesáhla hranici 151 kPa. Vozidlo při tomto plnicím tlaku zrychlí z 0 – 100 km.h^{-1} za 5,71 s.



Obrázek č. 5.26 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.29 – Shrnutí ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)

Zhodnocení				
P_{\max}	260	kW	5260	min^{-1}
M_{\max}	484	Nm	5086	min^{-1}
p_{\max}	151			kPa



```

AKCEL.EXE

E

max. rychlost na 1.prevodovy stupen : 65.1 [km/h]
max. rychlost na 2.prevodovy stupen : 109.7 [km/h]
max. rychlost na 3.prevodovy stupen : 163.6 [km/h]
max. rychlost na 4.prevodovy stupen : 220.4 [km/h]
max. rychlost na 5.prevodovy stupen : 273.2 [km/h]

max.rychlost automobilu : 273.2 [km/h]

zrychleni <0 - 60.0> [km/h] : 2.34 [s]
zrychleni <0 - 100.0> [km/h] : 5.71 [s]

cas <0-400> [m] : 13.83 [s]
cas <0-1000> [m] : 24.50 [s]

pruznost :
<60-90>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 1.9 / 3.6 / 5.3 [s]
<60-100>km/h na 2./3./4.pr.stupen: 2.5 / 4.6 / 7.0 [s]
<90-120>km/h na 3./4./5.pr.stupen: 2.7 / 4.9 / 6.8 [s]

```

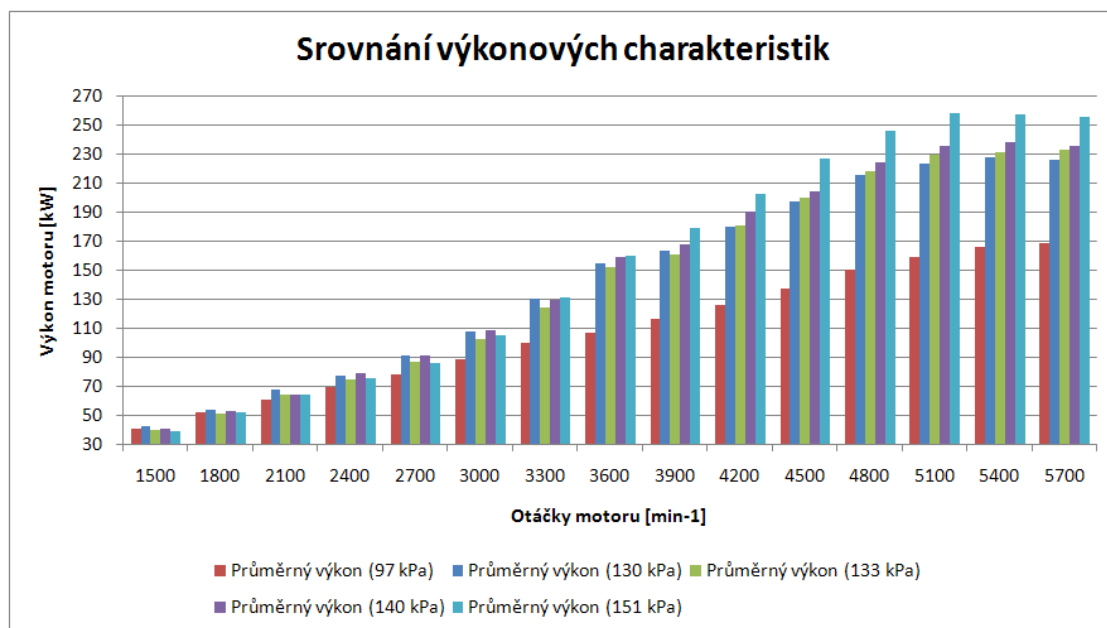
Obrázek č. 5.27 – Výpočtový program AKCEL ($p_{max} = 151 \text{ kPa}$)

5.6 Zhodnocení

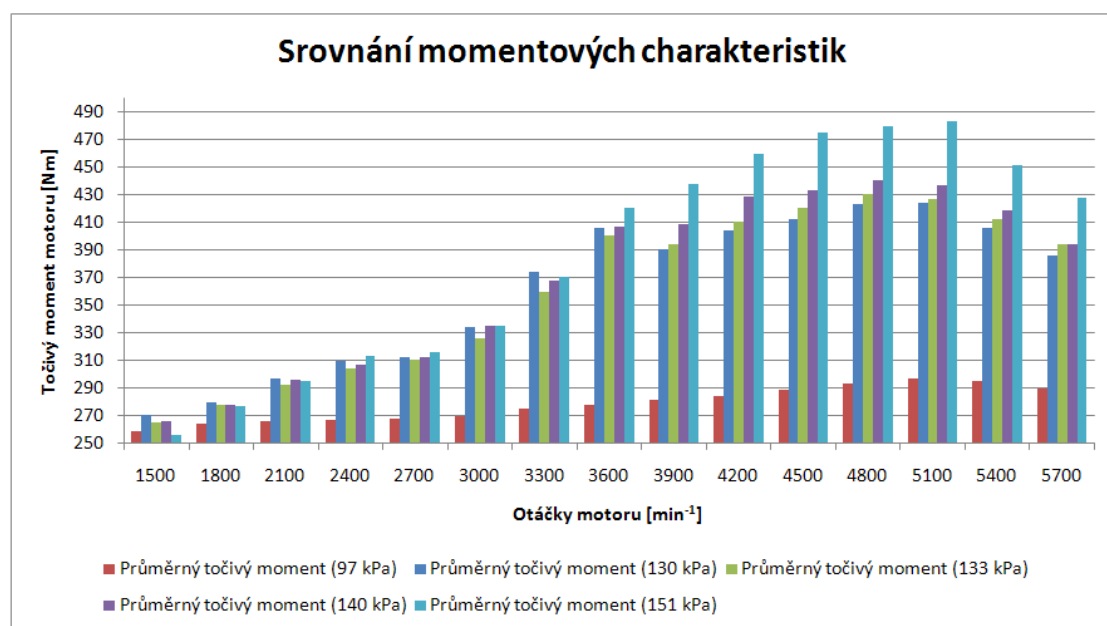
Bylo provedeno celkem padesát experimentálních měření. Naměřená data byla tabelárně zpracována a na jejich základě byl určen průměr maximálních výkonů, otáček při maximálním výkonu, točivých momentů a otáček při maximálním točivém momentu motoru. Prvních deset měření probíhalo při atmosférickém plnicím tlaku, kdy byla naměřena průměrná hodnota maximálního výkonu 170 kW a točivého momentu 298 Nm. Poté bylo spojeno sání motoru s dmychadlem a proběhlo dalších deset měření s přeplňovaným motorem. Maximální hodnota plnicího tlaku byla 130 kPa. Průměrný maximální výkon byl 229 kW a točivý moment 425 Nm. Regulační šroub obtokového ventilu byl přitáhnut o dvě otáčky a proběhlo dalších deset měření. Průměrný maximální výkon se zvýšil o 4 kW a točivý moment o 6 Nm. Poté se regulační šroub wastegatu znovu přitáhl o dvě otáčky a opět bylo provedeno deset měření. Průměrný maximální výkon se zvýšil o 6 kW a točivý moment o 10 Nm. Regulační šroub byl znovu přitáhnut o dvě otáčky a opět bylo provedeno deset měření. V tomto případě se průměrný maximální výkon zvýšil o 21 kW a točivý moment o 43 Nm. U této mechanické regulace plnicího tlaku nelze stanovit závislost polohy regulačního šroubu na výkon motoru, protože zde hraje velkou roli charakteristika pružiny uvnitř obtokového ventilu. Maximální naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5.30, srovnání výkonových a momentových charakteristik pak v grafech na obrázku č. 5.28 a 5.29.

Tabulka č. 5.30 – Zhodnocení naměřených hodnot

Zhodnocení naměřených hodnot					
p_{Pmax} [kPa]	P_{max} [kW]	n_{Pmax} [min^{-1}]	M_{max} [Nm]	n_{Mmax} [min^{-1}]	0-100 km/h [s]
97	170	5867	298	5044	7,96
130	229	5263	425	4953	6,12
133	233	5666	431	4938	6,09
140	239	5331	441	4826	5,99
151	260	5260	484	5086	5,71



Obrázek č. 5.28 – Srovnání výkonových charakteristik



Obrázek č. 5.29 – Srovnání momentových charakteristik

6 Závěry a doporučení

V úvodní této části diplomové práce byl proveden podrobný popis měřeného vozidla značky BMW, kde byl mimo jiné vysvětlen princip práce spalovacího motoru, který je přeplňován turbodmychadlem. Také zde byly uvedeny možnosti regulace plnicího tlaku prostřednictvím externího obtokového ventilu.

V další kapitole byly uvedeny možnosti, jak lze měřit výkon spalovacího motoru. Měření lze provádět na motorové brzdě, pomocí válcového dynamometru, pomocí indikace spalovacího tlaku nebo snímáním točivého momentu na klikovém hřídeli motoru. U každé této metody byl uveden vzorec pro výpočet efektivního výkonu motoru. Dále byla popsána rovnice pohybu silničního vozidla včetně dílčích odporů. Také zde byla vyobrazena charakteristika hnací síly na kolech vozidla.

Měření vozidla probíhalo na válcové zkušebně MAHA LPS 2000 v Ostravě – Vítkovicích. Strukturu programu a jednotlivé prvky této zkušební stanice popisuje třetí kapitola. Také zde nalezneme metodiku měření, která byla sestavena pro měřené vozidlo.

Kombinované nejistoty měření byly vypočteny prostřednictvím dílčích standardních nejistot typu A a typu B. Pro vyšší vypovídající schopnost byly naměřené výsledky vhodně zpracovány do tabulek a grafů.

Celkem bylo provedeno padesát experimentálních měření. Naměřená data byla tabelárně zpracována a na jejich základě byl určen průměr maximálních výkonů, otáček při maximálním výkonu, točivých momentů a otáček při maximálním točivém momentu motoru.

Prvních deset měření probíhalo při atmosférickém plnicím tlaku. Průměrná naměřená hodnota maximálního výkonu byla 170 kW a průměrná hodnota točivého momentu pak 298 Nm. Poté bylo spojeno sání motoru s dmychadlem a proběhlo dalších deset měření s přeplňovaným motorem. Maximální hodnota plnicího tlaku byla 130 kPa. Průměrný maximální výkon byl 229 kW a točivý moment 425 Nm. Regulační šroub obtokového ventilu byl přitáhnut o dvě otáčky a proběhlo dalších deset měření. Průměrný maximální výkon vzrostl na 233 kW a točivý moment na 431 Nm. Poté se regulační šroub wastegatu znovu přitáhl o dvě otáčky a opět bylo provedeno deset měření. Průměrný maximální výkon opět vzrostl, nyní na 239 kW a točivý moment na 441 Nm. Regulační šroub byl znovu přitáhnut o dvě otáčky a opět bylo provedeno deset měření. V tomto případě byl průměrný maximální výkon 260 kW a točivý moment 484 Nm. U této mechanické regulace plnicího tlaku nelze

stanovit závislost polohy regulačního šroubu na výkon motoru, protože zde hraje velkou roli charakteristika pružiny uvnitř externího obtokového ventilu.

Cílem této diplomové práce bylo prostřednictvím experimentálního měření stanovit výkonové parametry přepínaného spalovacího motoru u vybraného vozidla. Tyto výkonové parametry vhodně reprezentují vnější charakteristiky spalovacího motoru, které byly sestaveny po každých deseti měřeních.

7 Seznam použitých pramenů

- [1] *Bmwfans* [online]. [citováno 20. 3.2012]. Dostupné z www:
<<http://bmwfans.info/parts/catalog/E30/2-doors/Europe/318iM40/LHD/M/>>.
- [2] *Webanswerss* [online]. [citováno 7. 4.2012]. Dostupné z www:
<<http://www.webanswers.com/misc/turbo-charger-diagram-046c1c>>.
- [3] *Turbocharger* [online]. [citováno 7. 4.2012]. Dostupné z www:
<<http://atlanticz.ca/zclub/techtips/turbo/index.html>>.
- [4] *Wikipedie* [online]. [citováno 7. 4.2012]. Dostupné z www:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbodmychadlo>>.
- [5] *Wrxclub* [online]. [citováno 7. 4.2012]. Dostupné z www:
<<http://www.wrx.com.au/forum/viewtopic.php?f=56&t=53416>>.
- [6] BELL, C. *Maximum boost*. 1. vydání. USA, 1997. 249 s. ISBN 0-8376-0160-6
- [7] *Auto* [online]. [citováno 21. 4.2012]. Dostupné z www:
<<http://www.auto.cz/preplnovani-1-dil-teorie-mechanicke-preplnovani-16778>>.
- [8] *VUT* [online]. [citováno 25. 5.2012]. Dostupné z www:
<http://www.ms50.cz/qdv_stejskal.pdf>.
- [9] SZLOSEK, M. *Ověření rychlostních charakteristik vybraných osobních automobilů*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – TUO, 2011. 102 s., 3 přílohy.
- [10] *VSB* [online]. [citováno 25. 5.2012]. Dostupné z www:
<http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/2_4.pdf>.
- [11] Návod k obsluze, *Válcová zkušební stanice funkcí a výkonu LPS 2000*. 1. vydání. MAHA Consulting s.r.o., 1996. 64 s.
- [12] KOLEK, R. *Ověření dynamických a statických charakteristik automobilů*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – TUO, 2010. 103 s., 3 přílohy.
- [13] *HPLC* [online]. [citováno 7. 4.2012]. Dostupné z www:
<<http://www.hplc.cz/Validace/nejistoty.html>>.

8 Seznam použitých obrázků

Obrázek č. 1.1 – BMW e30 318i coupe

Obrázek č. 1.2 – Zážehový spalovací motor M30B35

Obrázek č. 1.3 – Třílamelová kovokeramická spojka Tilton

Obrázek č. 1.4 – Přední a zadní náprava vozidla BMW e30 318i coupe [1]

Obrázek č. 1.5 – BBS RC 090 a M-Technic

Obrázek č. 1.6 – Spalovací motor přepřlňovaný turbodmychadlem [2] – upraveno

Obrázek č. 1.7 – Schematické znázornění přepřlňovaného motoru turbodmychadlem [3]

Obrázek č. 1.8 – Konstrukce turbodmychadla [5] – upraveno

Obrázek č. 1.9 – Závislost velikosti turbodmychadla na době prodlevy [6] – upraveno

Obrázek č. 1.10 – Závislost velikosti turbodmychadla na točivém momentu motoru [6] - upraveno

Obrázek č. 1.11 – Výfukové svody

Obrázek č. 1.12 – Interní obtokový ventil

Obrázek č. 1.13 – Externí obtokový ventil

Obrázek č. 1.14 – Pneumatická regulace externího obtokového ventilu

Obrázek č. 1.15 – Externí obtokový ventil Turbosmart – 60 mm

Obrázek č. 1.16 – Software MegaTune – aktuální hodnoty

Obrázek č. 1.17 – Software MegaTune – režim jízdy

Obrázek č. 1.18 – Innovate LC-1

Obrázek č. 1.19 – Vstřikovací ventil Siemens Deka 850cc

Obrázek č. 1.20 – Chladič stlačeného vzduchu

Obrázek č. 1.21 – Hliníkové sání včetně škrťací klapky

Obrázek č. 1.22 – Přetlakový ventil – BOV

Obrázek č. 1.23 – Přetlakový ventil Tial – 50 mm

Obrázek č. 1.24 – BMW e30 335i turbo

Obrázek č. 2.1 – Měření výkonu motoru na motorové brzdě AVL [8]

Obrázek č. 2.2 – Měření výkonu motoru na válcové zkušebně MAHA LPS 2000

Obrázek č. 2.3 – Indikátorový diagram čtyřdobého motoru [8]

Obrázek č. 2.4 – Měření torzní deformace tenzometry [8]

Obrázek č. 2.5 – Vnější charakteristika spalovacího motoru [9]

Obrázek č. 2.6 – Vnější síly působící na vozidlo [10]

Obrázek č. 2.7 – Vozidlo na nakloněné rovině [10]

Obrázek č. 2.8 – Charakteristika hnací síly vozidla se čtyřstupňovou převodovkou[10]

Obrázek č. 3.1 – Válcová zkušebna MAHA LPS 2000 [12]

Obrázek č. 3.2 – Komunikační pult s barevnou obrazovkou

Obrázek č. 3.3 – Dálkové ovládání

Obrázek č. 3.4 – Sada válců R100/1

Obrázek č. 3.5 – Modul rozhraní

Obrázek č. 3.6 – Ventilátor

Obrázek č. 3.7 – Čtyřbarevná jehličková tiskárna CITIZEN SWIFT 200 [12]

Obrázek č. 3.8 – Správně ustavené a zajištěné vozidlo před měřením

Obrázek č. 3.9 – Struktura programu zkušební stanice MAHA LPS 2000 [11]

Obrázek č. 3.10 – Graf průběhu výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách

Obrázek č. 5.1 – Experimentální měření

Obrázek č. 5.2 – Měření výkonu atmosférického motoru

Obrázek č. 5.3 – Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.4 – Průběh výkonu motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.5 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.6 – Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru –
 $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.7 – Průběh točivého momentu motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.8 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.9 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.10 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Obrázek č. 5.11 - Měření výkonu přeplňovaného motoru

Obrázek č. 5.12 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.13 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru –
 $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.14 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.15 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

Obrázek č. 5.16 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.17 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru –
 $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.18 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.19 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)

Obrázek č. 5.20 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.21 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru –

$p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.22 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.23 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

Obrázek č. 5.24 – Závislost velikosti plnicího tlaku na výkon motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.25 – Závislost velikosti plnicího tlaku na točivý moment motoru –

$p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.26 – Vnější charakteristika spalovacího motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Obrázek č. 5.27 – Výpočtový program AKCEL ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)

Obrázek č. 5.28 – Srovnání výkonových charakteristik

Obrázek č. 5.29 – Srovnání momentových charakteristik

9 Seznam použitých tabulek

Tabulka č. 1.1 – Technické parametry měřeného vozidla BMW e30 coupe

Tabulka č. 1.2 – Ekonomické zhodnocení použitých součástí

Tabulka č. 3.1 – Technické parametry sady válců R100/1

Tabulka č. 5.1 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.2 – Hodnoty DMI a HMI pro maximální výkon motoru ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.3 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.4 – Stanovení mezních hodnot pro průběh výkonu ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.5 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.6 – Hodnoty DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.7 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{\max} = 97 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.8 – Stanovení mezních hodnot pro průběh točivého momentu ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.9 – Shrnutí ($p_{\max} = 97 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.10 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.11 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.12 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.13 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.14 – Shrnutí ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.15 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.16 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.17 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.18 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.19 – Shrnutí ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.20 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.21 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.22 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.23 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.24 – Shrnutí ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.25 – Hodnoty maximálního výkonu při plnicím tlaku $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.26 – Naměřené hodnoty výkonu při $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.27 – Hodnoty maximálního točivého momentu při plnicím tlaku $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.28 – Naměřené hodnoty točivého momentu při $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

Tabulka č. 5.29 – Shrnutí ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)

Tabulka č. 5.30 – Zhodnocení naměřených hodnot

10 Seznam příloh

Příloha A: Umístění obtokového ventilu ve výfukovém systému

Příloha B: Protokol měření – plicí tlak atmosférický

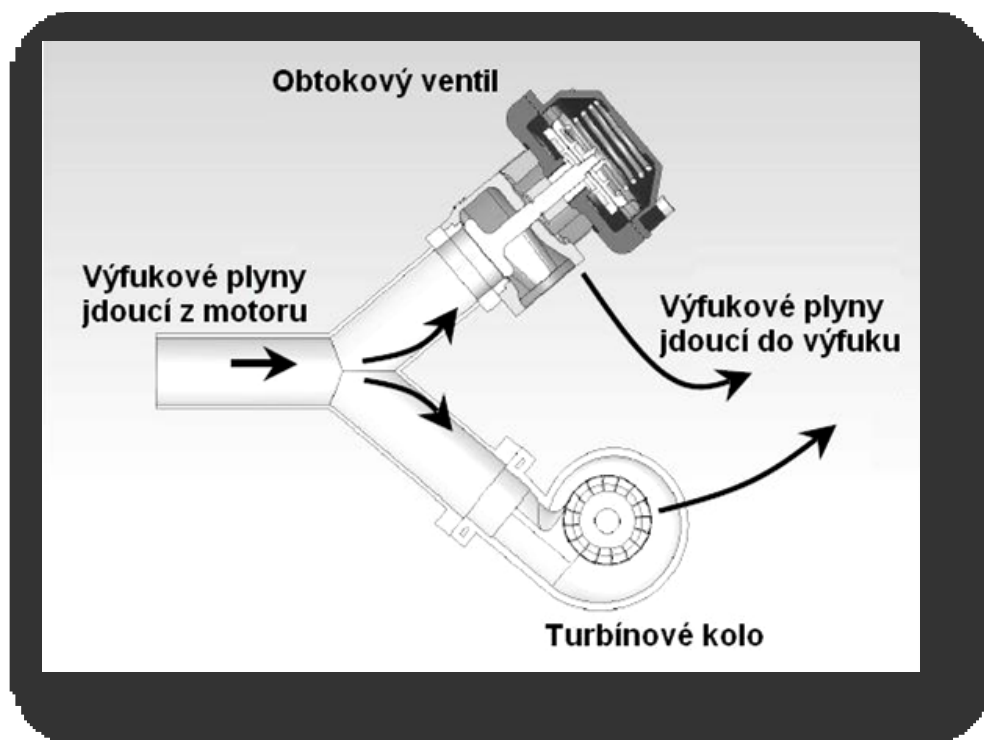
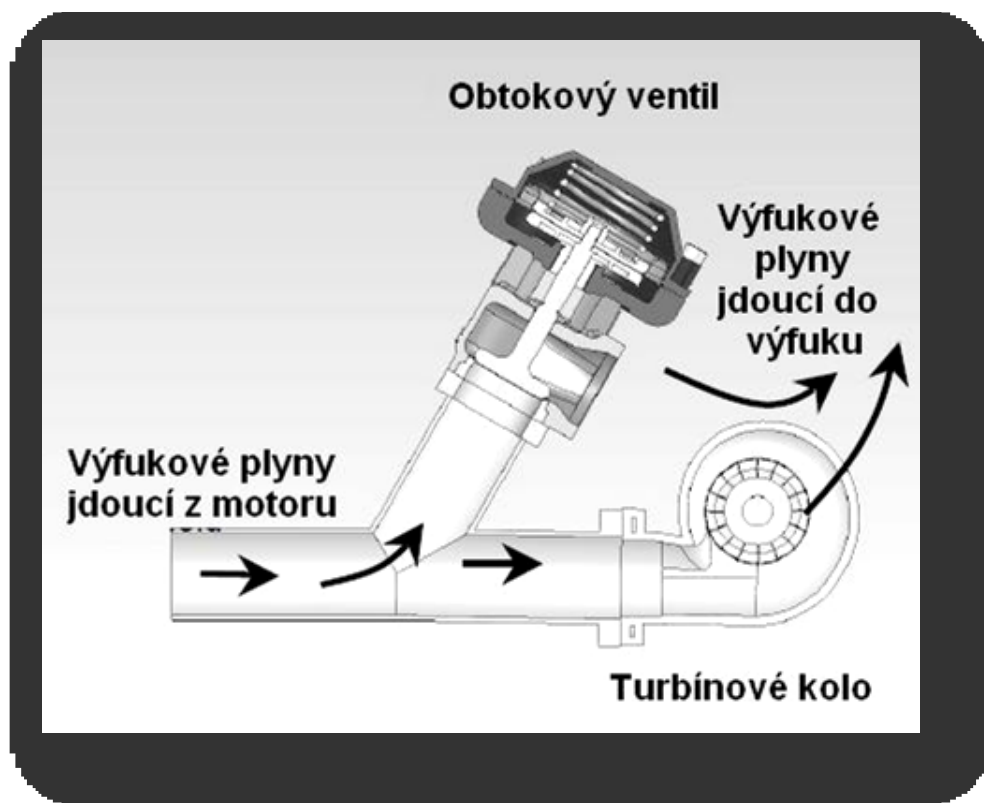
Příloha C: Protokol měření – plicí tlak – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$

Příloha D: Protokol měření – plicí tlak – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$

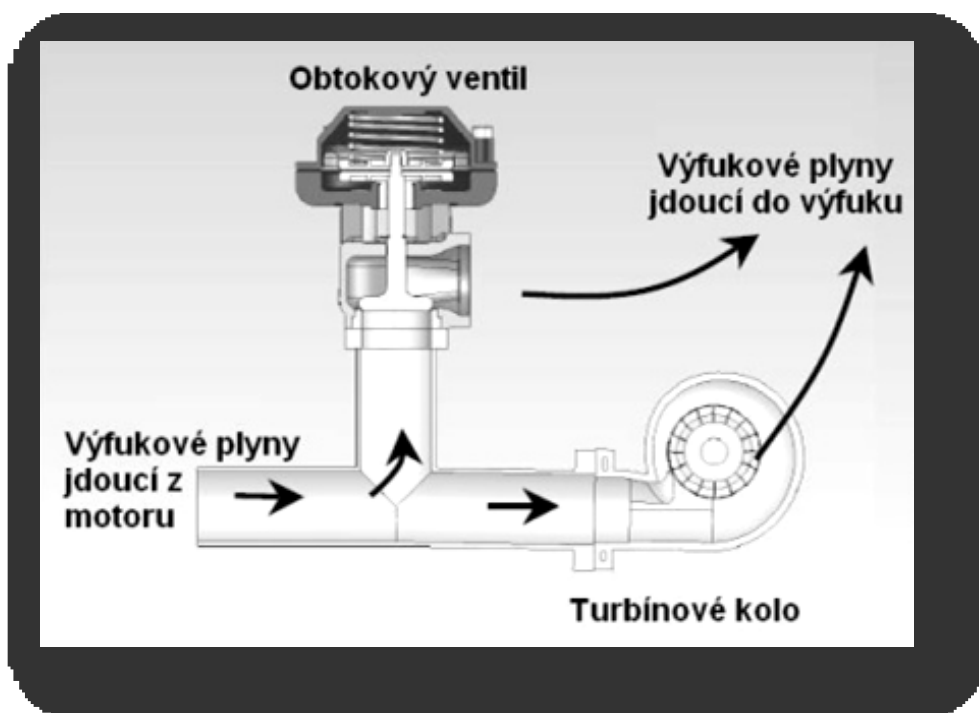
Příloha E: Protokol měření – plicí tlak – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$

Příloha F: Protokol měření – plicí tlak – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$

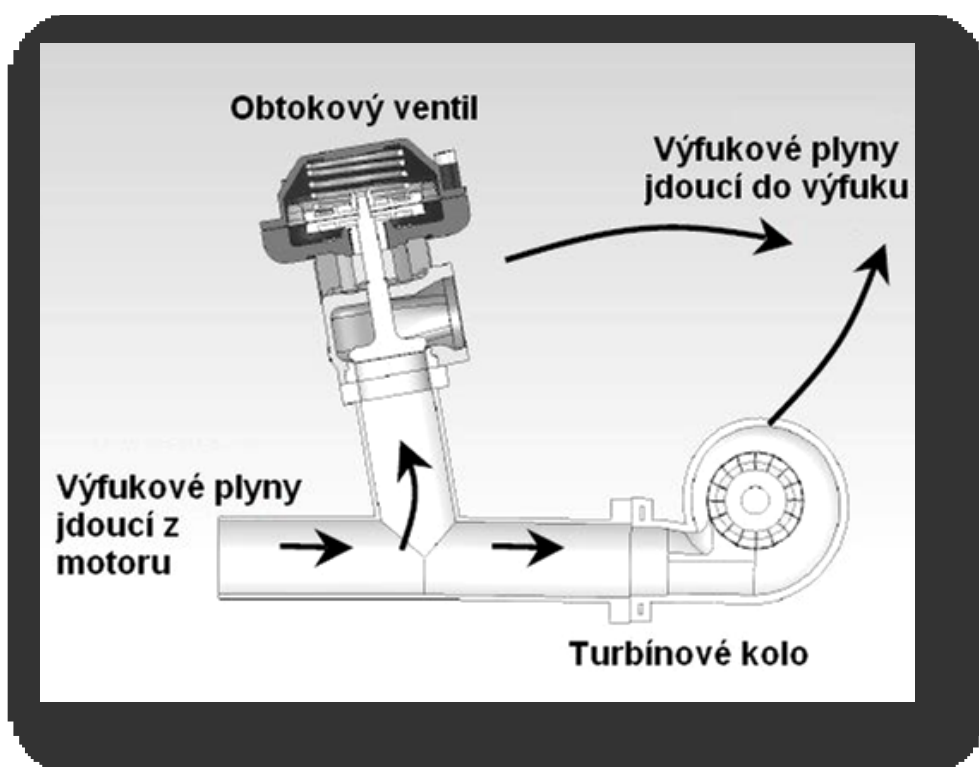
DVD-ROM: Sládek, J. *Diplomová práce*

Příloha A: Umístění obtokového ventilu ve výfukovém systému**SPRÁVNÉ UMÍSTĚNÍ****DOBŘÉ UMÍSTĚNÍ**

ŠPATNÉ UMÍSTĚNÍ



VELMI ŠPATNÉ UMÍSTĚNÍ



Příloha B: Protokol měření – plnící tlak atmosférický



Diagnostika výkonu

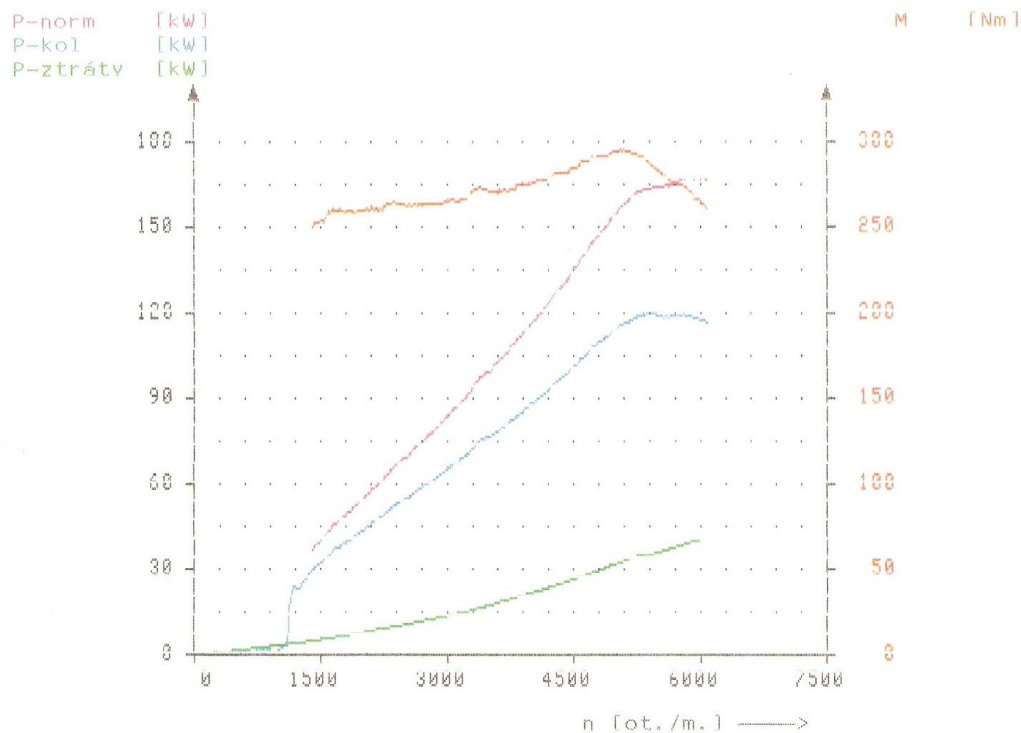
VSB-TU Ostrava, Institut dopravy
17. listopadu 15
CZ - 70833 Ostrava

Typ vozidla : BMW
Typ motoru : Zážehový motor
SPZ : měření 2a
Technik :

Datum :

Čas :

Program-Verze V 1.40 Regulátor-Verze V 1.10 Měřicí Box-Verze V 1.05



Údaje o výkonu vozidla:

Koridovaný výkon P-norm : 168,0 kW (228,4 PS) dle Normy DIN 70020
 Výkon motoru P-mot : 159,5 kW (216,9 PS)
 Výkon na kole P-kol : 120,0 kW (163,2 PS)
 Ztrátový výkon P-ztráty : 39,5 kW (53,7 PS)
 Maximální výkon při 209 km/h případně 5890 ot./m.

Točivý moment M : 296 Nm
 Maximální točivý moment při 180 km/h případně 5080 ot./m.

Maximální rychlost : 216 km/h
 Maximální otáčky : 6090 ot./min

Tlak vzduchu : 987 mbar Teplota vzduchu : 36 °C
 Tlak 1 : --- mbar Teplota oleje : 27 °C
 Tlak 2 : --- mbar Tepl.emis.plynů : --- °C

Příloha C: Protokol měření – plnicí tlak – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$ **Diagnostika výkonu**

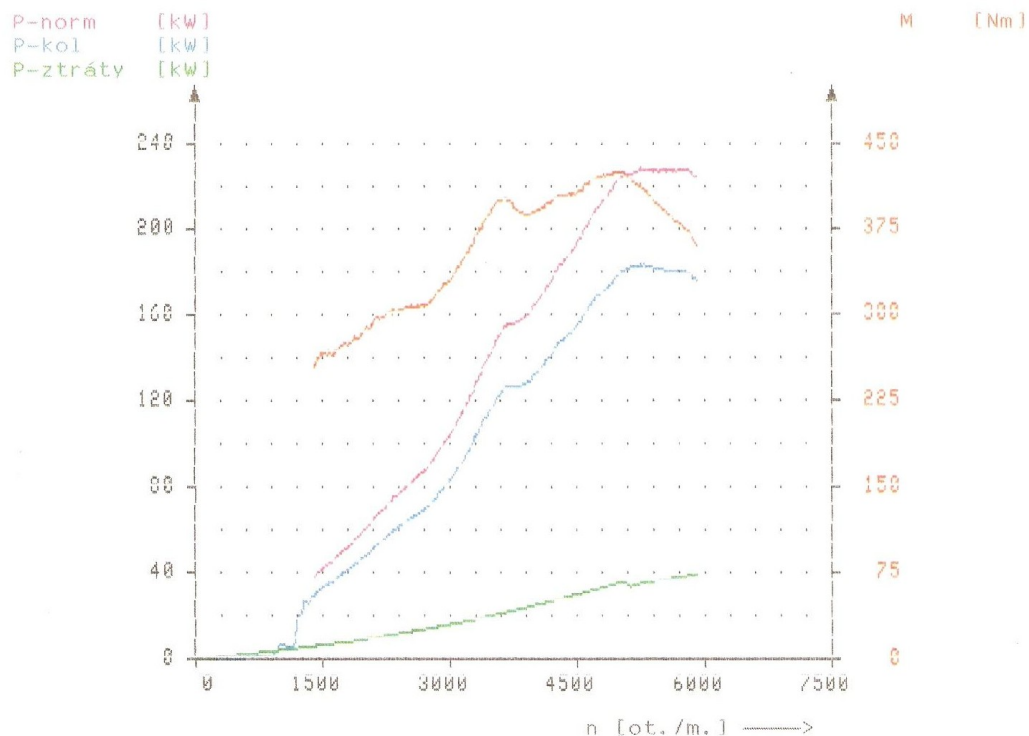
VSB-TU Ostrava, Institut dopravy
17. listopadu 15
CZ – 70833 Ostrava

Typ vozidla : BMW
Typ motoru : Zážehový motor
SPZ : merení 1b
Technik :

Datum :

Čas :

Program-Verze V 1.40 Regulátor-Verze V 1.10 Měřicí Box-Verze V 1.05

**Údaje o výkonu vozidla:**

Korigovaný výkon P_{norm} : 229,0 kW (311,4 PS) dle Normy DIN 70020
Výkon motoru P_{mot} : 219,5 kW (298,5 PS)
Výkon na kole P_{kol} : 184,0 kW (250,2 PS)
Ztrátový výkon $P_{\text{ztráty}}$: 35,5 kW (48,2 PS)
Maximální výkon při 187 km/h případně 5270 ot./m.

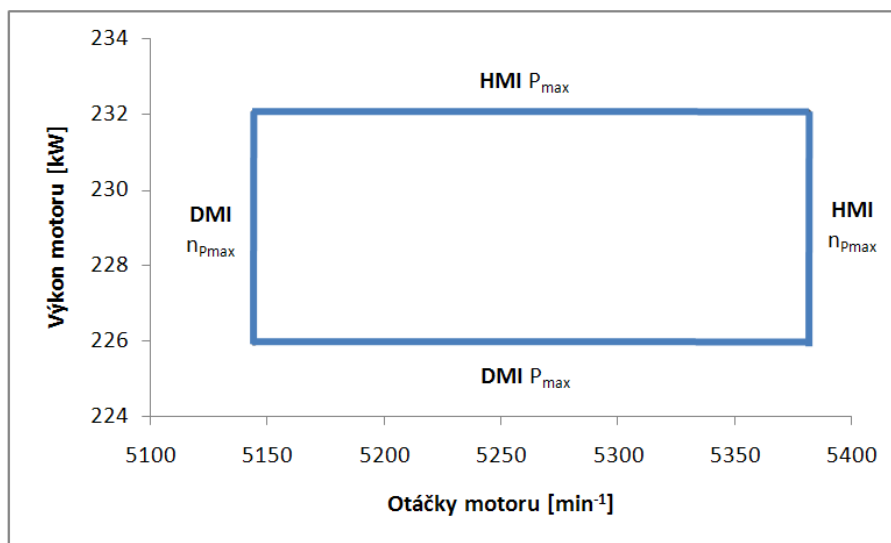
Točivý moment M : 426 Nm
Maximální točivý moment při 176 km/h případně 4960 ot./m.

Maximální rychlost : 211 km/h
Maximální otáčky : 5950 ot./min

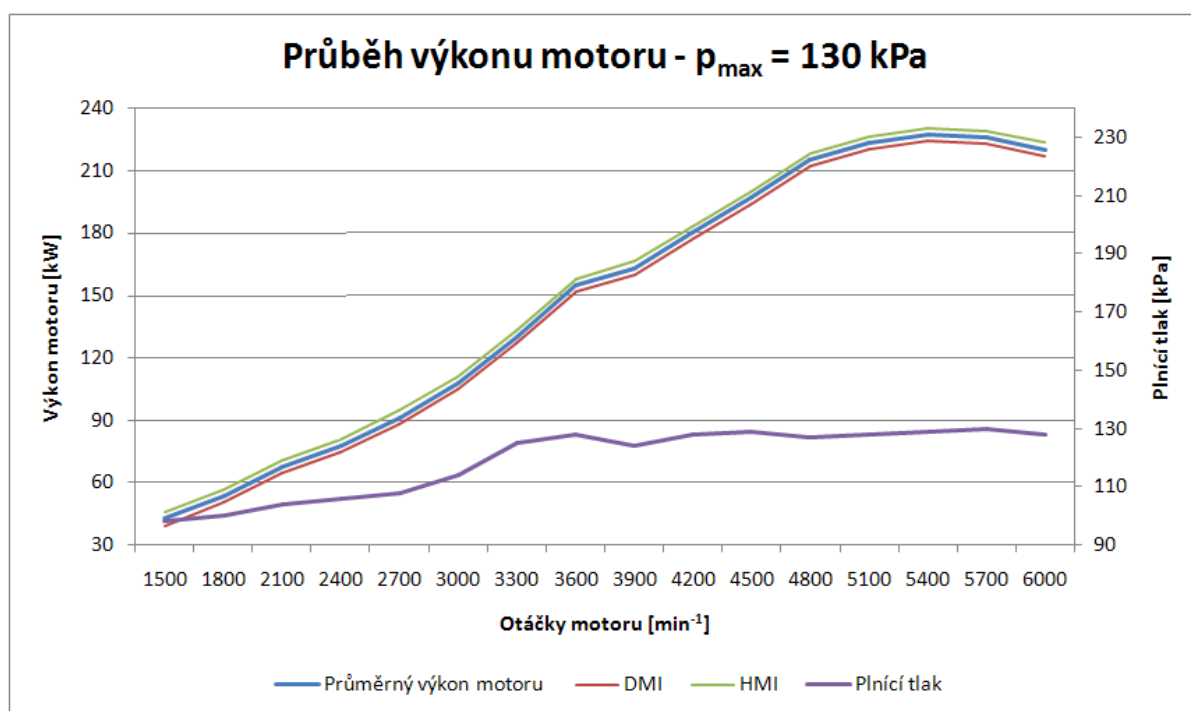
Tlak vzduchu	: 986 mbar	Teplota vzduchu	: 29 °C
Tlak 1	: --- mbar	Teplota oleje	: 27 °C
Tlak 2	: --- mbar	Tepl.emis.plynů	: --- °C

Hodnoty DMI a HMI pro maximální výkon motoru ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

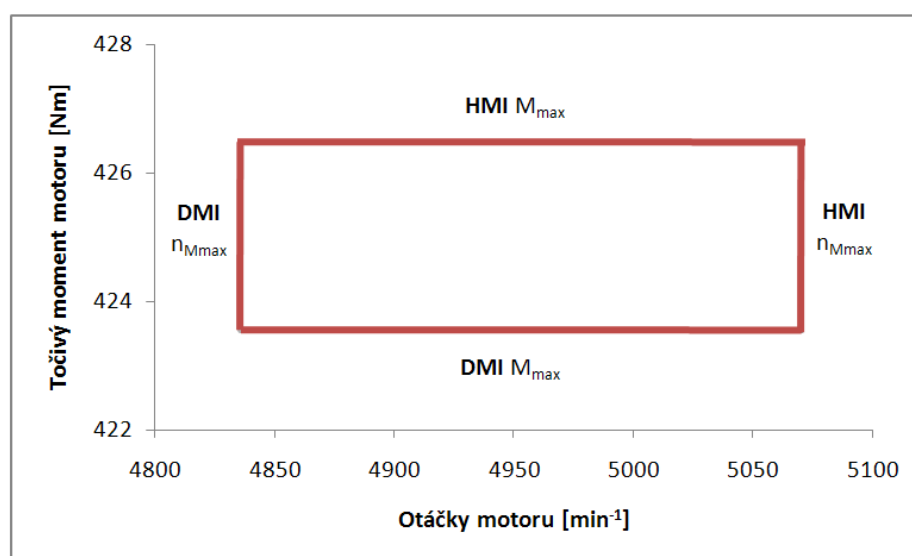
Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální výkon motoru					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
P_{\max} [kW]	1,20	6,00	6,12	225,94	232,06
$n_{P_{\max}}$ [min ⁻¹]	53,55	230,70	236,83	5144,58	5381,42

Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$ **Stanovení mezních hodnot pro průběh výkonu ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)**

Stanovení hodnot DMI a HMI pro výkon motoru [kW]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	2,07	6,00	6,35	39,33	45,67
1800	2,07	6,00	6,35	50,33	56,67
2100	2,07	6,00	6,35	64,33	70,67
2400	2,07	6,00	6,35	74,43	80,77
2700	2,21	6,00	6,40	88,10	94,50
3000	1,91	6,00	6,30	104,95	111,25
3300	1,73	6,00	6,24	126,98	133,22
3600	1,73	6,00	6,24	151,98	158,22
3900	1,75	6,00	6,25	160,07	166,33
4200	1,75	6,00	6,25	177,07	183,33
4500	1,75	6,00	6,25	194,07	200,33
4800	1,75	6,00	6,25	212,07	218,33
5100	1,48	6,00	6,18	220,11	226,29
5400	1,25	6,00	6,13	224,24	230,36
5700	1,23	6,00	6,12	223,14	229,26
6000	1,34	6,00	6,15	217,23	223,37

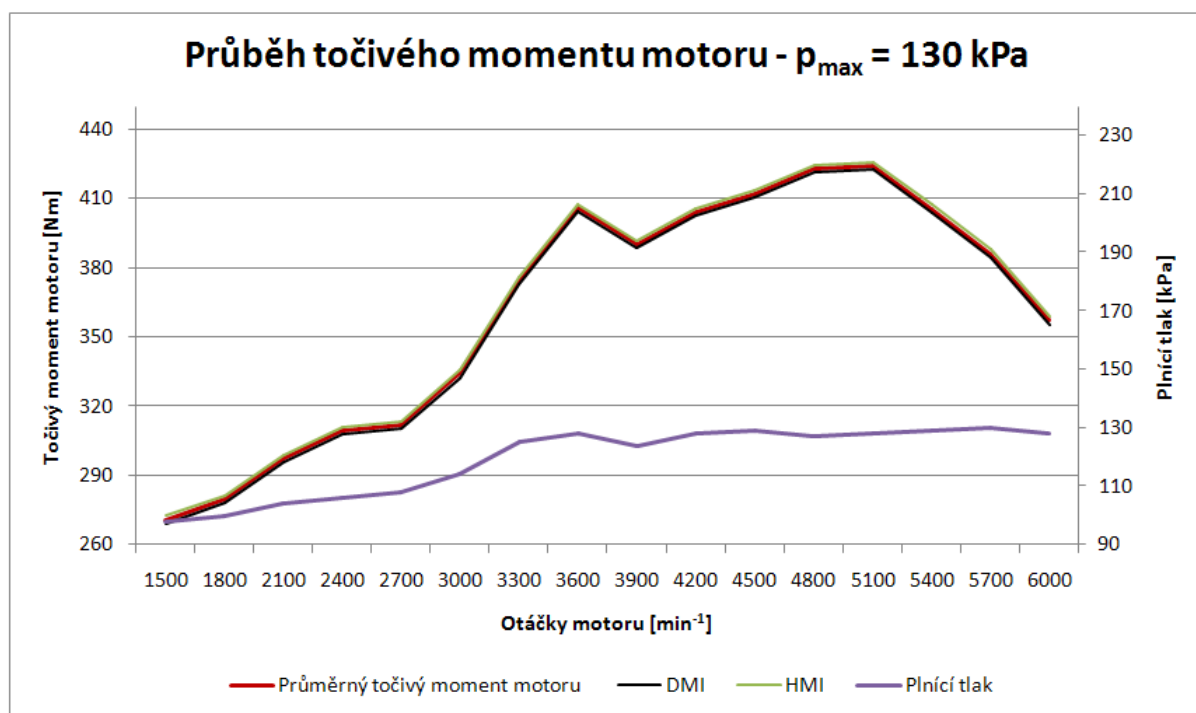
Průběh výkonu motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$ Hodnoty DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru					
	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
$M_{\max} [\text{Nm}]$	1,57	2,45	2,91	423,55	426,45
$n_{M\max} [\text{min}^{-1}]$	41,65	230,70	234,43	4835,79	5070,21

Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$ 

Stanovení mezních hodnot pro průběh točivého momentu ($p_{\max} = 130 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI protočivý moment motoru [Nm]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,85	2,45	3,07	269,36	272,44
1800	1,83	2,45	3,06	278,47	281,53
2100	1,81	2,45	3,05	295,68	298,72
2400	1,81	2,45	3,05	307,68	310,72
2700	2,00	2,45	3,16	310,42	313,58
3000	2,02	2,45	3,18	332,51	335,69
3300	1,89	2,45	3,09	372,75	375,85
3600	1,81	2,45	3,05	404,68	407,72
3900	1,71	2,45	2,99	388,91	391,89
4200	1,65	2,45	2,95	402,92	405,88
4500	1,64	2,45	2,95	410,83	413,77
4800	1,48	2,45	2,86	421,77	424,63
5100	1,57	2,45	2,91	422,85	425,75
5400	2,84	2,45	3,75	403,63	407,37
5700	2,75	2,45	3,68	384,46	388,14
6000	2,72	2,45	3,66	355,57	359,23

Průběh točivého momentu motoru – $p_{\max} = 130 \text{ kPa}$ 

Příloha D: Protokol měření – plnicí tlak – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$ **Diagnostika výkonu**

VSB-TU Ostrava, Institut dopravy
17. listopadu 15
CZ – 70833 Ostrava

Typ vozidla : BMW
Typ motoru : Zážehový motor
SPZ : merení 1c
Technik :

Datum :

Čas :

Program-Verze

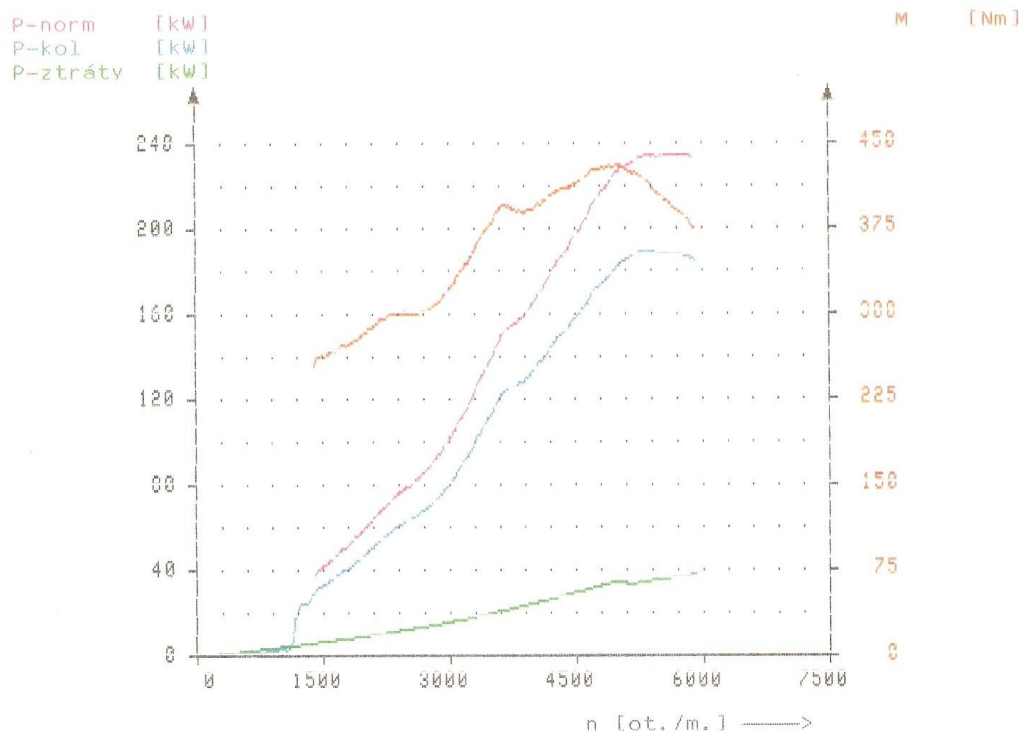
V 1.40

Regulátor-Verze

V 1.10

Měřicí Box-Verze

V 1.05

**Údaje o výkonu vozidla:**

Korigovaný výkon P-norm : 235,5 kW (320,2 PS) dle Normy DIN 70020
Výkon motoru P-mot : 225,5 kW (306,6 PS)
Výkon na kole P-kol : 188,5 kW (256,3 PS)
Ztrátový výkon P-ztráty : 37,0 kW (50,3 PS)
Maximální výkon při 201 km/h případně 5670 ot./m.

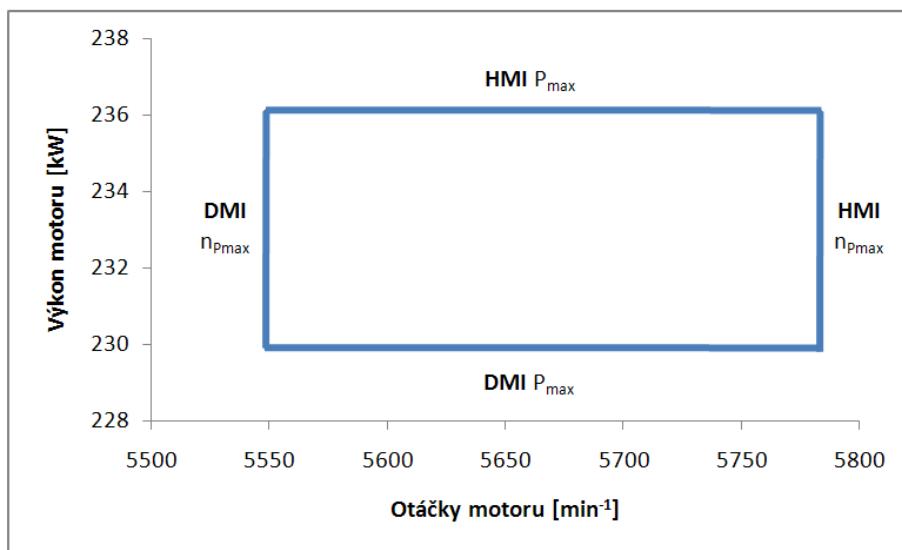
Točivý moment M : 432 Nm
Maximální točivý moment při 175 km/h případně 4940 ot./m.

Maximální rychlost : 211 km/h
Maximální otáčky : 5950 ot./min

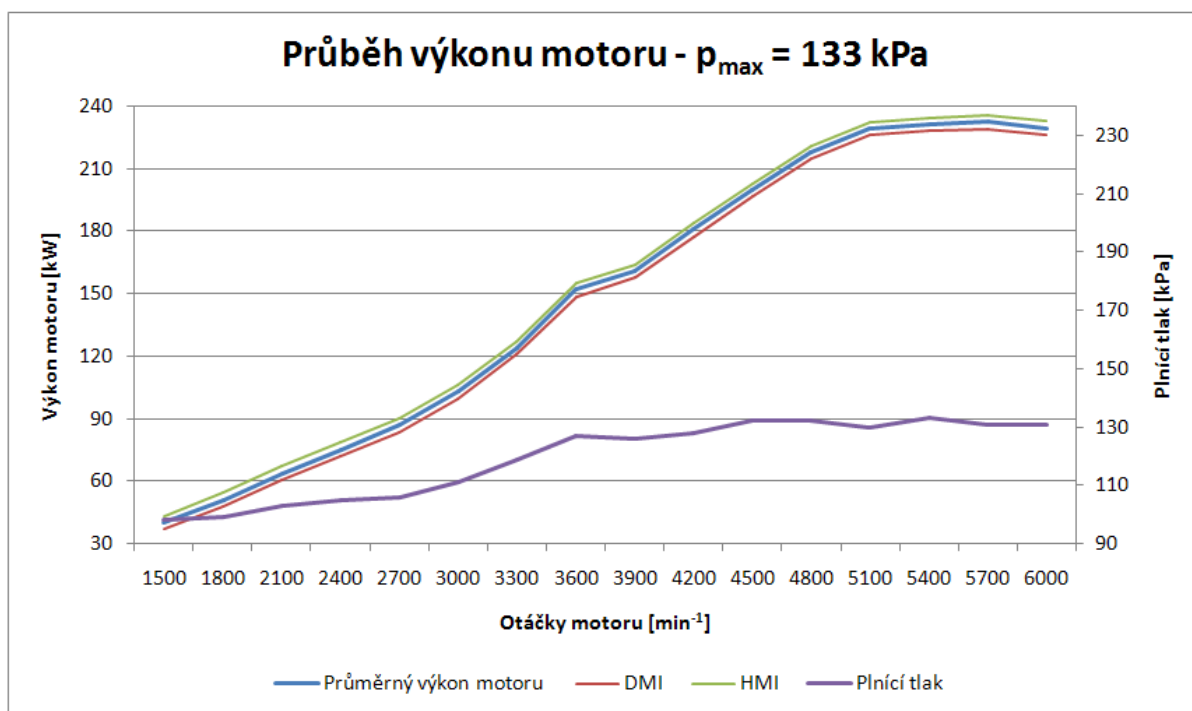
Tlak vzduchu	: 986 mbar	Teplota vzduchu	: 30 °C
Tlak 1	: --- mbar	Teplota oleje	: 28 °C
Tlak 2	: --- mbar	Tepl.emis.plynů	: --- °C

Hodnoty DMI a HMI pro maximální výkon motoru ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)

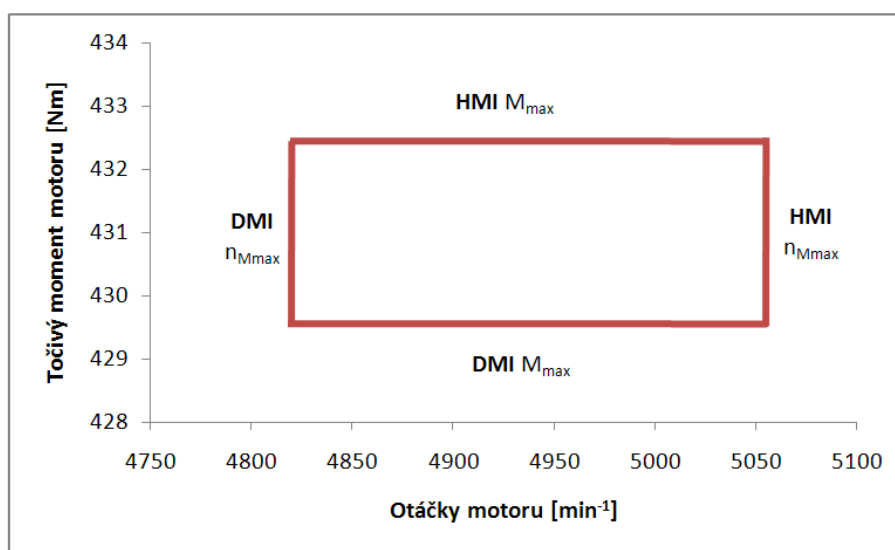
Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální výkon motoru					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
P_{\max} [kW]	1,56	6,00	6,20	229,90	236,10
$n_{P_{\max}}$ [min ⁻¹]	38,36	230,70	233,87	5549,07	5782,93

Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$ **Stanovení mezních hodnot pro průběh výkonu ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)**

Stanovení hodnot DMI a HMI pro výkon motoru [kW]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	2,77	6,00	6,61	36,80	43,40
1800	2,67	6,00	6,57	47,72	54,28
2100	2,60	6,00	6,54	60,63	67,17
2400	2,64	6,00	6,56	71,82	78,38
2700	2,56	6,00	6,52	83,64	90,16
3000	2,56	6,00	6,52	99,64	106,16
3300	2,58	6,00	6,53	120,73	127,27
3600	2,51	6,00	6,51	148,85	155,35
3900	2,58	6,00	6,53	157,73	164,27
4200	2,49	6,00	6,49	177,55	184,05
4500	2,49	6,00	6,49	196,55	203,05
4800	2,51	6,00	6,51	214,65	221,15
5100	1,72	6,00	6,24	226,38	232,62
5400	1,72	6,00	6,24	228,38	234,62
5700	1,72	6,00	6,24	229,38	235,62
6000	1,77	6,00	6,25	226,57	232,83

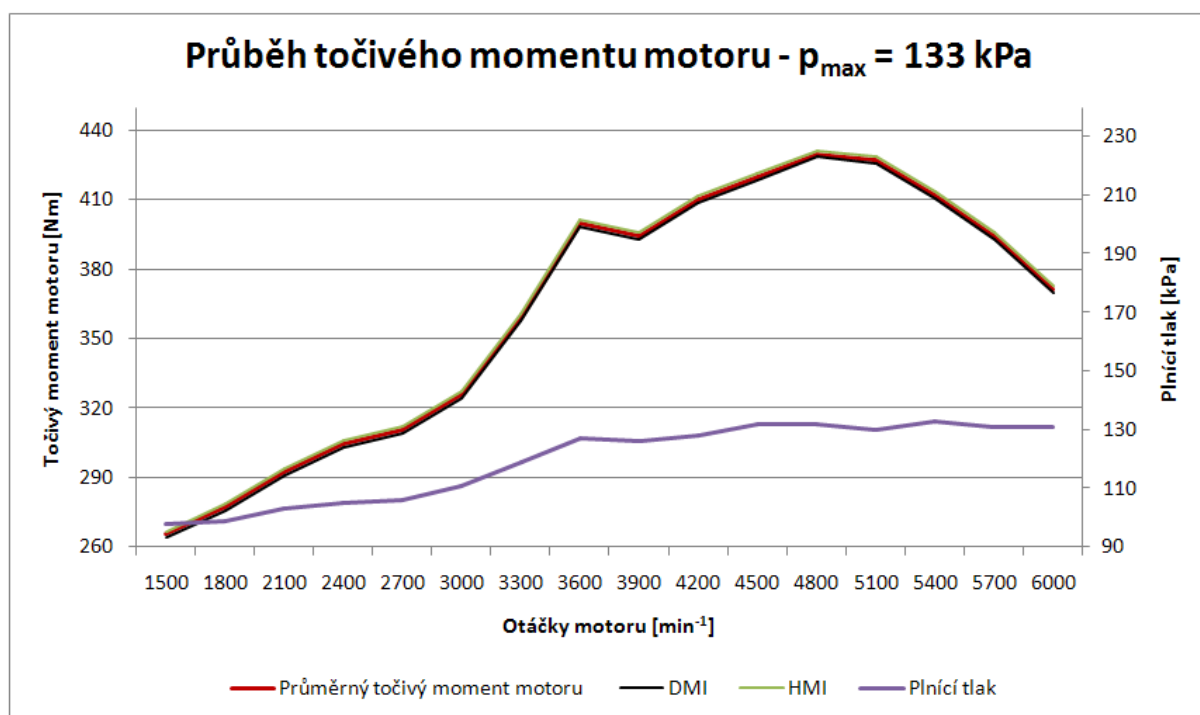
Průběh výkonu motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$ Hodnoty DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru					
	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
$M_{\max} [\text{Nm}]$	1,52	2,45	2,89	429,56	432,44
$n_{M\max} [\text{min}^{-1}]$	41,58	230,70	234,42	4820,79	5055,21

Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$ 

Stanovení mezních hodnot pro průběh točivého momentu ($p_{\max} = 133 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI protočivý moment motoru [Nm]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,58	2,45	2,92	264,04	266,96
1800	1,58	2,45	2,92	276,04	278,96
2100	1,58	2,45	2,91	290,94	293,86
2400	1,51	2,45	2,88	303,16	306,04
2700	1,79	2,45	3,04	309,38	312,42
3000	1,79	2,45	3,04	324,38	327,42
3300	1,69	2,45	2,97	357,71	360,69
3600	1,69	2,45	2,97	398,71	401,69
3900	1,70	2,45	2,98	392,81	395,79
4200	1,78	2,45	3,03	408,89	411,91
4500	1,49	2,45	2,87	418,57	421,43
4800	1,49	2,45	2,87	428,57	431,43
5100	1,52	2,45	2,89	425,66	428,54
5400	1,37	2,45	2,81	410,70	413,50
5700	1,27	2,45	2,76	393,12	395,88
6000	1,34	2,45	2,79	369,90	372,70

Průběh točivého momentu motoru – $p_{\max} = 133 \text{ kPa}$ 

Příloha E: Protokol měření – plnicí tlak – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$



Diagnostika výkonu

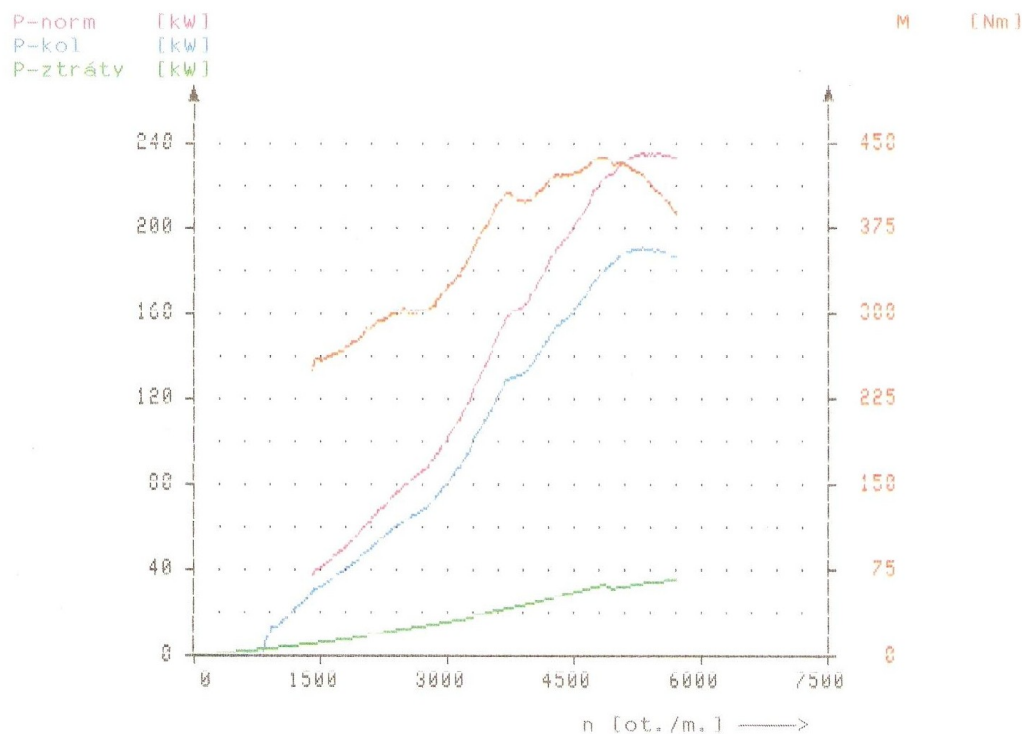
VSB-TU Ostrava, Institut dopravy
17 Listopadu 15
CZ – 70833 Ostrava

Typ vozidla : BMW
Typ motoru : Zážehový motor
SPZ : merení 1d
Technik :

Datum :

Čas :

Program-Verze V 1.40 Regulátor-Verze V 1.10 Měřicí Box-Verze V 1.05



Údaje o výkonu vozidla:

Korigovaný výkon P-norm : 236,5 kW (321,6 PS) dle Normy DIN 70020
Výkon motoru P-mot : 226,0 kW (307,3 PS)
Výkon na kole P-kol : 191,5 kW (260,4 PS)
Ztrátový výkon P-ztráty : 34,5 kW (46,9 PS)
Maximální výkon při 189 km/h případně 5330 ot./m.

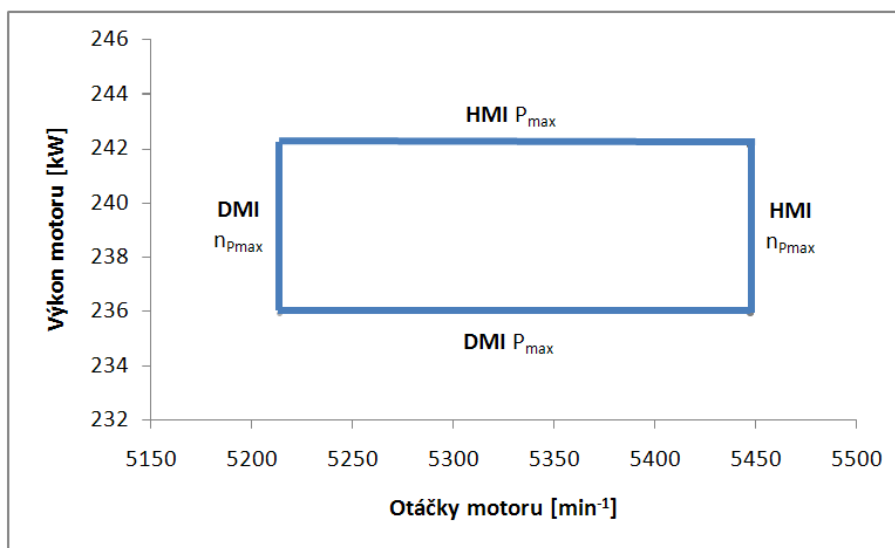
Točivý moment M : 439 Nm
Maximální točivý moment při 171 km/h případně 4820 ot./m.

Maximální rychlost : 204 km/h
Maximální otáčky : 5750 ot./min

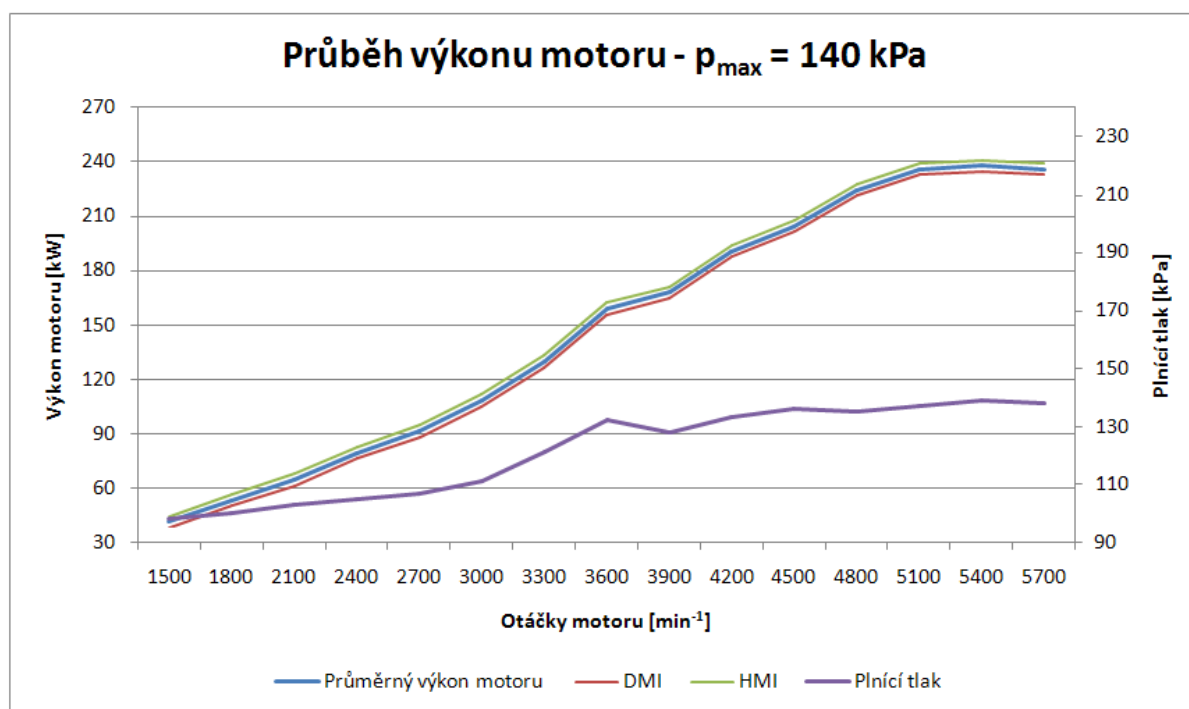
Tlak vzduchu :	985 mbar	Teplota vzduchu :	31 °C
Tlak 1 :	--- mbar	Teplota oleje :	29 °C
Tlak 2 :	--- mbar	Tepl.emis.plynů :	--- °C

Hodnoty DMI a HMI pro maximální výkon motoru ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

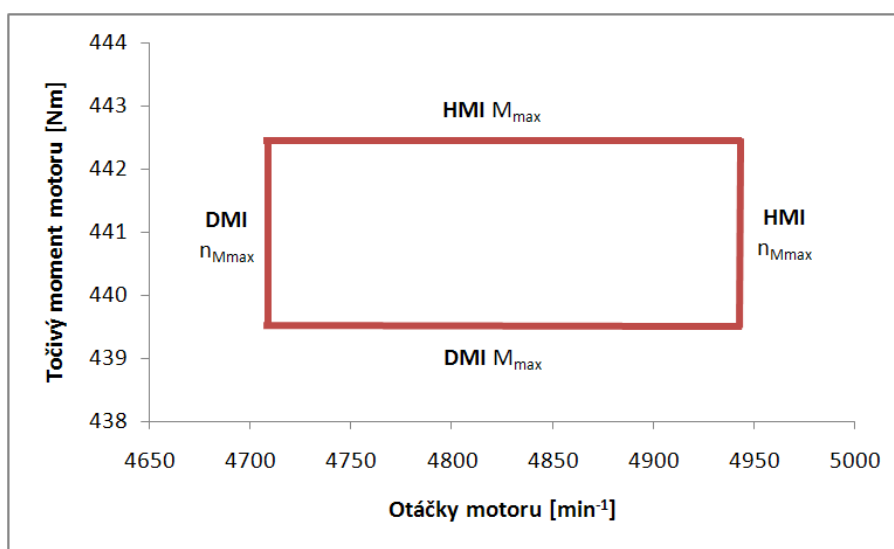
Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální výkon motoru					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
$P_{\max} [\text{kW}]$	1,31	6,00	6,14	235,93	242,07
$n_{P_{\max}} [\text{min}^{-1}]$	37,84	230,70	233,78	5214,11	5447,89

Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$ **Stanovení mezních hodnot pro průběh výkonu ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)**

Stanovení hodnot DMI a HMI pro výkon motoru [kW]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,93	6,00	6,30	38,05	44,35
1800	1,96	6,00	6,31	50,24	56,56
2100	1,90	6,00	6,29	61,45	67,75
2400	2,00	6,00	6,33	76,14	82,46
2700	2,01	6,00	6,33	88,24	94,56
3000	2,37	6,00	6,45	105,18	111,62
3300	2,42	6,00	6,47	126,66	133,14
3600	2,21	6,00	6,39	155,80	162,20
3900	1,63	6,00	6,22	164,89	171,11
4200	1,57	6,00	6,20	187,60	193,80
4500	1,43	6,00	6,17	201,42	207,58
4800	1,77	6,00	6,25	221,17	227,43
5100	1,49	6,00	6,18	232,61	238,79
5400	1,49	6,00	6,18	234,61	240,79
5700	1,57	6,00	6,20	232,60	238,80

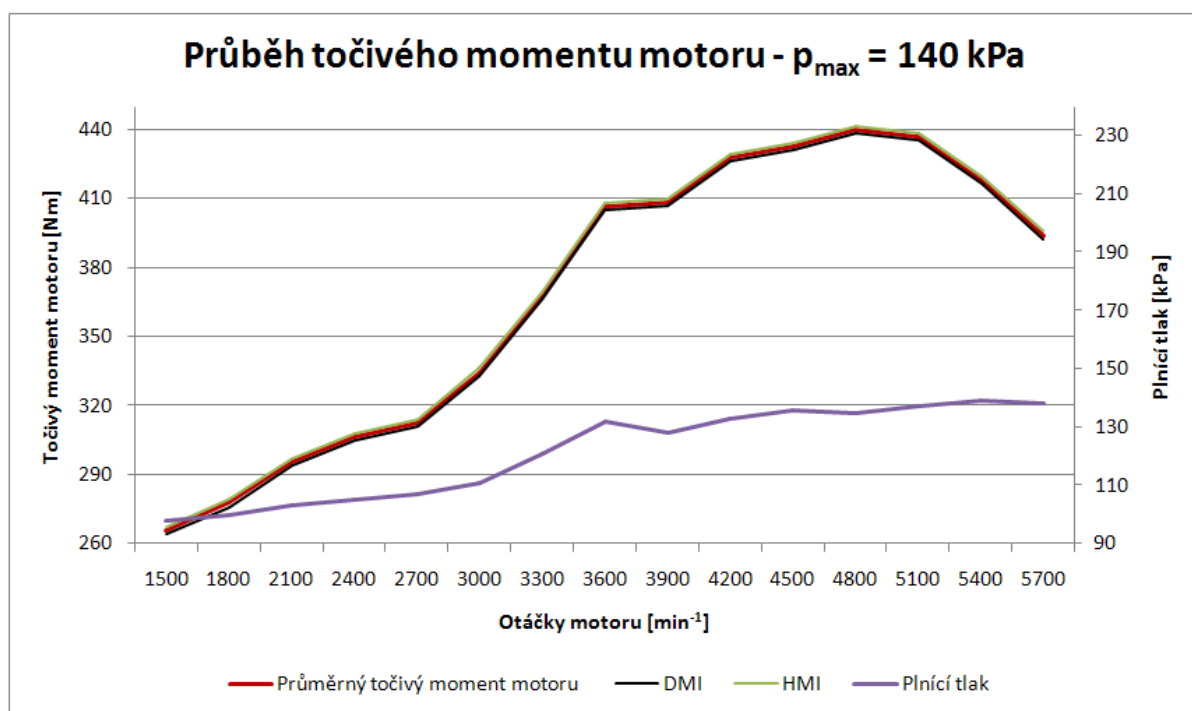
Průběh výkonu motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$ Hodnoty DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru					
	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
$M_{\max} [\text{Nm}]$	1,60	2,45	2,92	439,54	442,46
$n_{M_{\max}} [\text{min}^{-1}]$	40,33	230,70	234,20	4708,90	4943,10

Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$ 

Stanovení mezních hodnot pro průběh točivého momentu ($p_{\max} = 140 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI protočivý moment motoru [Nm]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,75	2,45	3,01	264,29	267,31
1800	1,96	2,45	3,13	276,03	279,17
2100	1,70	2,45	2,98	294,21	297,19
2400	1,58	2,45	2,92	305,04	307,96
2700	1,72	2,45	2,99	311,00	314,00
3000	2,32	2,45	3,37	332,91	336,29
3300	2,06	2,45	3,20	366,10	369,30
3600	1,89	2,45	3,09	405,15	408,25
3900	1,64	2,45	2,95	406,83	409,77
4200	1,81	2,45	3,05	426,68	429,72
4500	1,76	2,45	3,02	431,49	434,51
4800	1,60	2,45	2,92	438,64	441,56
5100	1,63	2,45	2,94	435,53	438,47
5400	2,04	2,45	3,19	416,60	419,80
5700	2,23	2,45	3,32	392,44	395,76

Průběh točivého momentu motoru – $p_{\max} = 140 \text{ kPa}$ 

Příloha F: Protokol měření – plnicí tlak – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$ 

Diagnostika výkonu

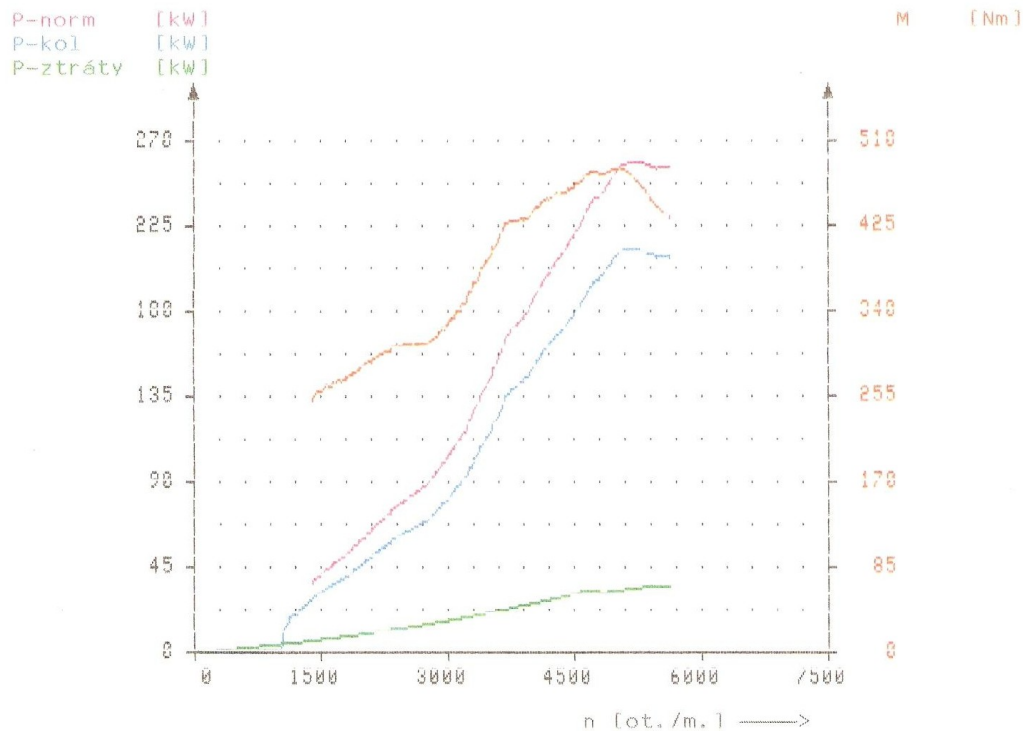
VSB-TU Ostrava, Institut dopravy
17. listopadu 15
CZ - 70833 Ostrava

Typ vozidla : BMW
Typ motoru : Zážehový motor
SPZ : merení 1e
Technik :

Datum :

Čas :

Program-Verze V 1.40 Regulátor-Verze V 1.10 Měřicí Box-Verze V 1.05



Údaje o výkonu vozidla:

Koridovaný výkon P_{norm} : 260,5 kW (354,2 PS) dle Normy DIN 70020
 Výkon motoru P_{mot} : 248,5 kW (337,9 PS)
 Výkon na kole P_{kol} : 213,5 kW (290,3 PS)
 Ztrátový výkon $P_{\text{ztráty}}$: 35,0 kW (47,6 PS)
 Maximální výkon při 187 km/h případně 5270 ot./m.

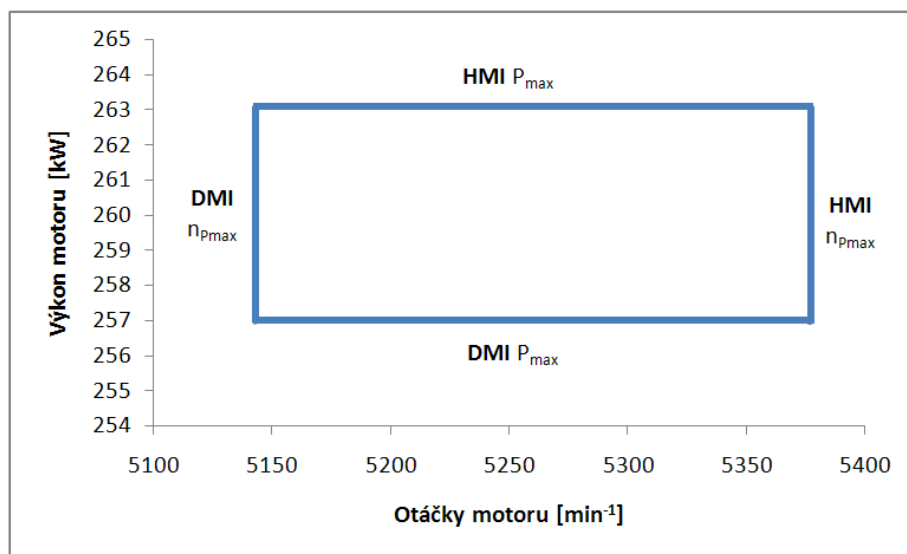
Točivý moment M : 485 Nm
 Maximální točivý moment při 180 km/h případně 5080 ot./m.

Maximální rychlost : 201 km/h
 Maximální otáčky : 5670 ot./min

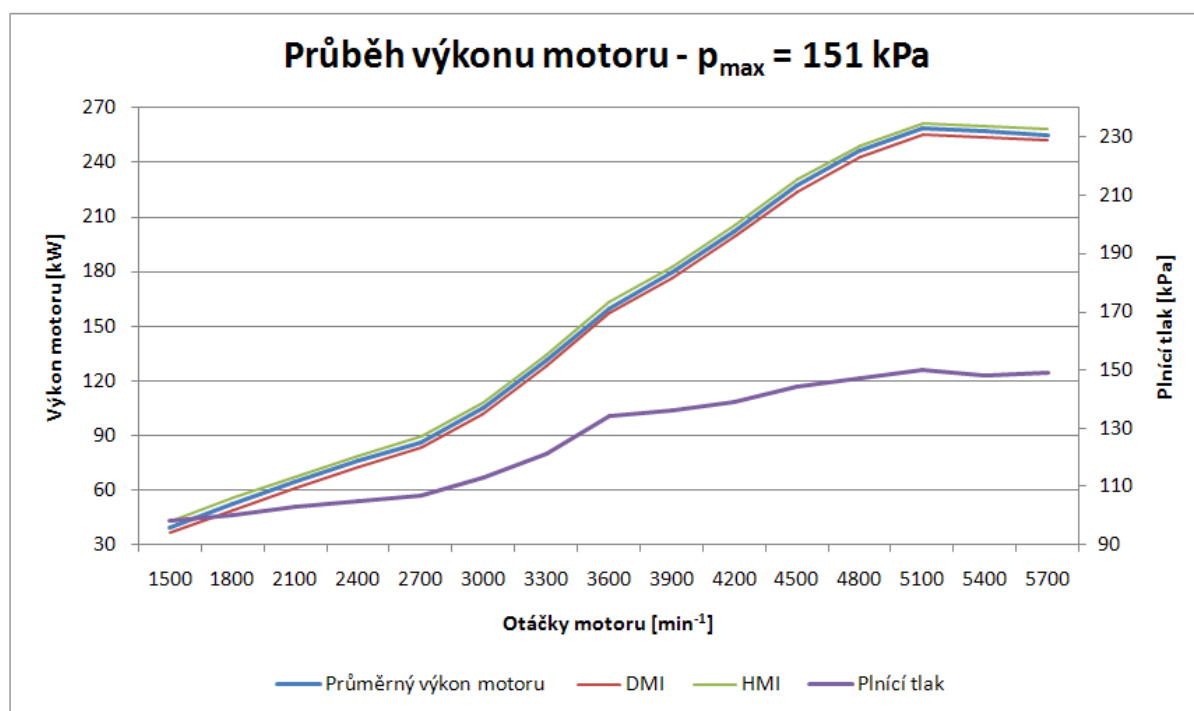
Tlak vzduchu	: 985 mbar	Teplota vzduchu	: 31 °C
Tlak 1	: --- mbar	Teplota oleje	: 29 °C
Tlak 2	: --- mbar	Tepl. emis. plynů	: --- °C

Hodnoty DMI a HMI pro maximální výkon motoru ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)

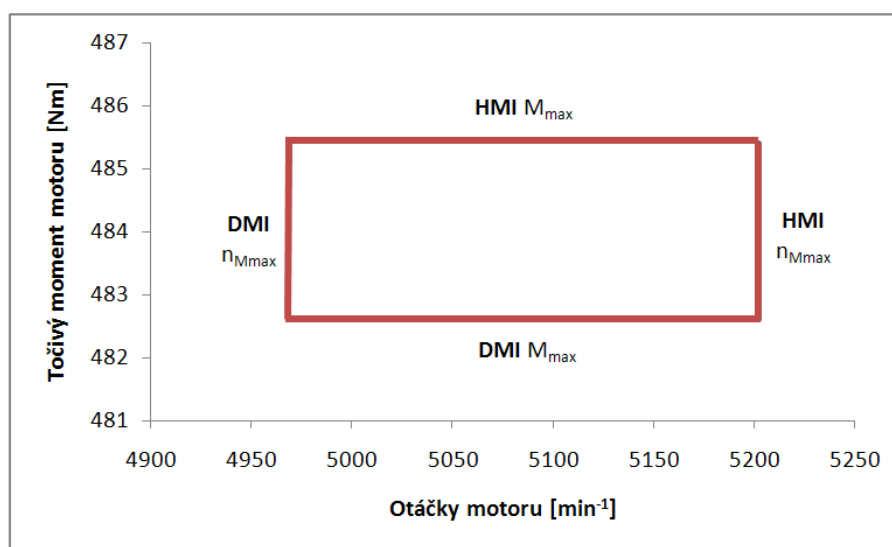
Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální výkon motoru					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
P_{\max} [kW]	0,92	6,00	6,07	256,96	263,04
$n_{P_{\max}}$ [min ⁻¹]	40,82	230,70	234,28	5142,86	5377,14

Oblast maximálních naměřených hodnot výkonu motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$ **Stanovení mezních hodnot pro průběh výkonu ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)**

Stanovení hodnot DMI a HMI pro výkon motoru [kW]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,51	6,00	6,19	36,31	42,49
1800	1,34	6,00	6,15	49,23	55,37
2100	1,08	6,00	6,10	61,45	67,55
2400	1,34	6,00	6,15	72,63	78,77
2700	1,37	6,00	6,15	83,02	89,18
3000	1,37	6,00	6,15	102,02	108,18
3300	1,70	6,00	6,24	127,88	134,12
3600	1,70	6,00	6,24	156,88	163,12
3900	2,00	6,00	6,33	176,14	182,46
4200	1,91	6,00	6,30	198,95	205,25
4500	1,75	6,00	6,25	224,07	230,33
4800	1,34	6,00	6,15	243,23	249,37
5100	0,97	6,00	6,08	255,46	261,54
5400	1,10	6,00	6,10	254,05	260,15
5700	1,10	6,00	6,10	252,05	258,15

Průběh výkonu motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$ Hodnoty DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI pro maximální točivý moment motoru					
	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
$M_{\max} [\text{Nm}]$	1,34	2,45	2,79	482,60	485,40
$n_{M\max} [\text{min}^{-1}]$	35,96	230,70	233,49	4969,26	5202,74

Oblast maximálních naměřených hodnot točivého momentu motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$ 

Stanovení mezních hodnot pro průběh točivého momentu ($p_{\max} = 151 \text{ kPa}$)

Stanovení hodnot DMI a HMI protočivý moment motoru [Nm]					
Otáčky motoru [min ⁻¹]	nejistota typu A	nejistota typu B	kombinovaná nejistota	DMI	HMI
1500	1,63	2,45	2,94	254,53	257,47
1800	1,52	2,45	2,89	275,46	278,34
2100	1,43	2,45	2,84	294,08	296,92
2400	1,65	2,45	2,95	312,12	315,08
2700	1,84	2,45	3,06	314,87	317,93
3000	1,64	2,45	2,95	333,83	336,77
3300	1,99	2,45	3,16	368,62	371,78
3600	1,90	2,45	3,10	418,85	421,95
3900	1,77	2,45	3,02	435,79	438,81
4200	1,96	2,45	3,13	457,83	460,97
4500	2,01	2,45	3,17	473,02	476,18
4800	1,58	2,45	2,92	478,04	480,96
5100	1,51	2,45	2,88	481,96	484,84
5400	1,57	2,45	2,91	450,25	453,15
5700	1,51	2,45	2,88	426,16	429,04

Průběh točivého momentu motoru – $p_{\max} = 151 \text{ kPa}$ 